

# 饥饿及恢复投喂对刺参生长、耗氧率和排氨率的影响

高鹏程<sup>1,2</sup> 周朝生<sup>2,3</sup> 吴洪喜<sup>2,3\*</sup> 胡利华<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(<sup>2</sup> 浙江省海洋水产养殖研究所, 温州 325005)

(<sup>3</sup> 浙江省近岸水域生物资源开发与保护实验室, 温州 325005)

**摘要** 在水温(16±1)℃、盐度 27.6±0.5、pH 值 7.5~8.3 条件下,将体重为(28.47±2.02)g 的刺参 *Apostichopus japonicus* 分别饥饿 0(空白对照)、5、10、15 和 20 d(分别记为 T0、T5、T10、T15 和 T20)后再饱食投喂至 40 d。实验结果表明,随着饥饿时间的延长,刺参的耗氧率呈急速下降、上升、再下降的变化规律;排氨率呈先上升、后下降的变化规律;氧氮比呈先下降、后上升的变化规律。饥饿结束时刺参的体重,除 T5 组外,其余各组均显著小于 T0 组( $P<0.05$ ),且各自均有不同程度的下降,耗氧率和排氨率与 T0 组比较均呈显著性差异( $P<0.05$ )。饥饿对刺参 O/N 比值的影响显著( $P<0.05$ ),饥饿初期刺参 O/N 比值平均为 10 左右,随着饥饿时间的延长,刺参 O/N 比值降为小于 7。实验结束时,各饥饿组刺参的体重和特定生长率均小于 T0 组( $P<0.05$ ),除 T5 组外,各组的耗氧率和排氨率,均未能恢复至 T0 组水平( $P<0.05$ )。可见,饥饿后恢复投喂的刺参不具有补偿生长的特征。

**关键词** 刺参;饥饿;投喂;耗氧率;排氨率

**中图分类号** S917.4 **文献标志码** A **文章编号** 1000-7075(2014)01-0125-08

## Effects of starvation on growth, oxygen consumption and ammonia excretion rate of sea cucumber *Apostichopus japonicus*

GAO Peng-cheng<sup>1,2</sup> ZHOU Chao-sheng<sup>2,3</sup> WU Hong-xi<sup>2,3\*</sup> HU Li-hua<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(<sup>2</sup> Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005)

(<sup>3</sup> Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005)

**ABSTRACT** The effects of starvation and re-feeding on the growth, oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Apostichopus japonicus* were studied at (16±1)℃, salinity 27.6±0.5 and pH 7.5-8.3. Sea cucumbers at body weight of (28.47±2.02)g were starved for 5 d(T5), 10 d(T10), 15 d(T15), and 20 d(T20), and then were re-fed until the 40th day. Results showed that with the extension of the starvation period, the oxygen consumption of *A. japonicus* displayed three stages of variation “sharp decrease, increase and decrease”. Ammonia excretion rate increased at first and then decreased. The ratio of the animals of oxygen to nitro-

浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室人才培养基金(2012F20020)和浙江省重大科技专项(优先主题)(2008C02009-I)共同资助  
\* 通讯作者。E-mail: whxchina@126.com, Tel: (0577)88228385

收稿日期: 2012-11-23; 接受日期: 2013-01-11

作者简介: 高鹏程(1988-), 男, 硕士, 主要从事水产养殖技术研究。E-mail: legend04fsefan@163.com, Tel: 13761001672

gen showed a decreasing-increasing trend. The weight of the animals of each starving treatment (except T5) was significantly lower than the control ( $P < 0.05$ ) and decreased at the end of starvation. The oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of the animals of starving treatments (except T5) were significantly different from the control ( $P < 0.05$ ). Starvation had a significant impact on the ratio of O/N ( $P < 0.05$ ). The O/N ratio of the animals starving treatments was about 10 at the beginning of the starvation period. As the starvation time prolonged, the O/N ratio of the animals became less than 7. At the end of the experiment, the weight and specific growth rate of each treatment were significantly lower than the control ( $P < 0.05$ ), while their oxygen consumption rate and ammonia excretion rate (except T5) were also lower than the control ( $P < 0.05$ ). This indicated that *A. japonicus* had no compensatory growth with re-feeding after starvation.

**KEY WORDS** *Apostichopus japonicus*; Starvation; Feeding; Oxygen consumption rate; Ammonia excretion rate

动物在自然条件下由于食物在空间与时间分布上的不均匀性,其生活史中遭遇食物匮乏或缺失的现象非常普遍,饥饿是水产动物生活史中经常面临的环境胁迫因子之一,不同种类或不同生活期的水产动物对饥饿的适应方式及耐受能力也不尽相同(吴立新等 2000)。通常,饥饿时水产动物通过调节机体自身代谢水平、能量分配和内源能量物质的消耗,以适应饥饿胁迫(Mehner *et al.* 1994; Jobling *et al.* 1994; 谢小军等 1998)。目前国内外关于饥饿对鱼类、贝类呼吸代谢的影响已有一些报道(Moran *et al.* 2004; 郭海燕等 2007; 单乐州等 2008; 杨凤等 2008),但有关棘皮动物饥饿及饥饿后恢复投喂对其生长和呼吸代谢影响的研究主要集中于海胆(Lares *et al.* 1998; 李霞等 2004; 秦艳杰等 2011)。刺参 *Apostichopus japonicus* 是一种具有重要营养和药用价值的棘皮动物,是目前我国南北方人工养殖的主要品种之一。周玮等(2009)在对刺参苗种饥饿研究中发现,循环投喂和饥饿后再投喂条件下,刺参苗种均未出现补偿生长现象。作者以1龄刺参为研究对象,探讨饥饿和恢复投喂对其生长、摄食及呼吸代谢的影响,旨在揭示刺参在饥饿胁迫时的生理变化,为刺参养殖的合理投喂提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 刺参的来源与驯化

实验用1龄刺参,于2012年1月采自浙江省温州市苍南县霞关海区的养殖场,在浙江省海洋水产养殖研究所清江试验场驯化。实验用海水取自乐清湾自然海区,经沉淀、砂滤、曝气后使用。盐度为  $27.6 \pm 0.5$ , pH 值为  $7.5 \sim 8.3$ , 水温为  $(16 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 连续充气。每天 08:00~09:00 虹吸排污并 100% 换水 1 次, 17:00 投喂 1 次, 饵料为干海带, 浸泡 2 d 后, 切至  $(0.5 \sim 1)\text{cm}$  左右, 日投饵量按体重的 6% 计算。

驯化 14 d 后, 选取健康、体重相近 ( $28.47 \pm 2.02\text{g}$ ) 的个体供实验用。

### 1.2 实验设计与取样

经预实验后, 设计饥饿 0 (T0, 空白对照)、5 (T5)、10 (T10)、15 (T15) 和 20 d (T20) 共 5 个实验组, 每组 5 个重复, 实验在体积为 50 L 的塑料水槽 ( $50\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 35\text{ cm}$ ) 中进行, 每个水槽盛海水 40 L, 放实验刺参 6 只。T0 组正常投喂, T5、T10、T15 和 T20 组饥饿结束后开始正常投喂, 直至实验结束 (40d)。实验用水及其过程中的管理、投喂方法同驯化期。

T0 组和 T20 组在实验开始、整个实验期间每隔 5 d 随机取样 1 次, 其余组在实验开始、饥饿结束和整个实验结束时分别取样 1 次, 每组每次取 5 头刺参, 测定其耗氧率、排氨率和总体重 (称总体重需取全部刺参), 10 h

内测定完成并放回原水槽。有投喂的组,测定耗氧率和排氮率时提前 1 h 取样,所取刺参停食待测。

### 1.3 指标测定与计算

#### 1.3.1 体重指标的测定

实验开始和结束时,均对每个水槽内的刺参样本进行称重,称重前停饵 24 h,起捕后干露 5 min,然后用电子天平称重,记录其体重。相对体重损失率和特定生长率(SGR)分别按以下公式计算:

$$\text{相对体重损失率} = [(W_0 - W_t) / W_0] \times 100\%$$

$$\text{SGR}(\%) = 100 \times (\ln W_s - \ln W_t) / t$$

式中, $W_0$ 、 $W_t$ 、 $W_s$ 分别为饥饿前体重(g)、饥饿结束时体重(g)及实验结束时体重(g), $t$ 为恢复投喂时间(d)。

#### 1.3.2 耗氧率和排氮率的测定

将实验刺参取出放入盛有相同盐度海水的 3 L 锥形瓶中,每瓶放 1 只,设置 5 个平行,同时设置 1 个空白呼吸瓶(不放刺参)作为对照。塑料薄膜密封瓶口,实验时间为 8 h。分别采用(Winkler)滴定法和次溴酸钠氧化法测定实验前后水体中溶解氧(DO)和氨氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )浓度,根据  $D_0$ 和  $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度变化计算耗氧率和排氮率。

单位湿体重耗氧率( $D_0$ )和排氮率( $N$ )的计算采用以下公式:

$$D_0(\text{mg/g} \cdot \text{h}) = (C_0 - C_t) V / WT$$

$$N(\mu\text{g/g} \cdot \text{h}) = (N_0 - N_t) 1\,000 V / WT$$

式中, $C_0$ 、 $C_t$ 为空白瓶与实验结束时溶解氧含量( $\text{mg/g} \cdot \text{h}$ ), $N_0$ 、 $N_t$ 为空白瓶与实验结束时水中氨氮的含量( $\text{mg/g} \cdot \text{h}$ ), $V$ 为样品瓶体积(L), $W$ 为刺参湿体重(g), $T$ 为实验持续时间(h)。

$$\text{氧氮比: } O/N = 1\,000 \times D_0 / N$$

### 1.4 数据统计与分析

SPSS 17.0 软件统计分析实验数据,单因子方差分析(One-Way ANOVA)和 Duncan 多重比较分析不同处理之间的差异,以  $P < 0.05$  作为不同处理之间显著差异的标志。

## 2 结果

### 2.1 饥饿及恢复投喂对刺参生长的影响

随着饥饿时间的延长,刺参体重不断下降,体重损失率逐渐增大。饥饿结束时,T5、T10、T15 和 T20 各組体重损失率分别达到 4.6%、8.1%、11.8%和 19.9%,各饥饿组均未出现死亡个体。除 T5 组和对照组间刺参体重无显著差异( $P > 0.05$ )外,其余各饥饿组刺参的体重均显著小于对照组( $P < 0.05$ ),T10 组刺参体重和 T15 组刺参体重之间无显著性差异( $P > 0.05$ ),其余各組间刺参体重差异显著( $P < 0.05$ )(表 1)。

恢复投喂后,T15 组和 T20 组刺参体重出现负增长,其余两饥饿组刺参体重逐渐增加。实验结束时各饥饿组刺参与对照组之间刺参的体重,以及各饥饿组之间刺参的体重均存在显著性差异( $P < 0.05$ )。各饥饿组 T5、T10、T15、T20 的 SGR 分别为 0.39%、0.30%、-0.14%、-0.74%,与对照组相比差异显著( $P < 0.05$ )(表 1)。

### 2.2 饥饿及恢复投喂对刺参 $D_0$ 的影响

对 T20 组的连续监测结果表明,刺参在饥饿过程中随着时间的延长,其  $D_0$  逐渐降低,特别是在饥饿时间 10 d 内, $D_0$  先快速下降,后有所回升,到 15d 时又转为下降,到 20 d 时,下降到实验期间的最低值。整个饥饿期间  $D_0$  下降了 45.83%,而对照组  $D_0$  始终在 0.025  $\text{mg/g} \cdot \text{h}$  上下波动,且波动范围较小(图 1)。

表 1 饥饿及恢复投喂后对刺参体重的影响

Table 1 The effect of starvation and re-feeding on body weight of *A. japonicus* (Mean  $\pm$  SE)

组别 Treatment	实验时体重 Weight before starvation(g)	饥饿结束时 End of starvation		实验结束时 End of experiment	
		体重 Weight(g)	相对体重损失率 Rate of weight loss(%)	体重 Weight(g)	SGR Specific growth rate(%)
T0(Control)	28.39 $\pm$ 1.97	28.39 $\pm$ 1.97 <sup>c</sup>	—	36.57 $\pm$ 2.40 <sup>c</sup>	0.63
T5	29.11 $\pm$ 2.15	27.78 $\pm$ 2.02 <sup>c</sup>	4.57	31.81 $\pm$ 2.33 <sup>d</sup>	0.39
T10	27.97 $\pm$ 2.52	25.70 $\pm$ 2.01 <sup>b</sup>	8.12	28.14 $\pm$ 2.13 <sup>c</sup>	0.30
T15	28.15 $\pm$ 2.41	24.84 $\pm$ 1.84 <sup>b</sup>	11.76	24.00 $\pm$ 1.93 <sup>b</sup>	-0.14
T20	28.70 $\pm$ 2.24	22.98 $\pm$ 2.01 <sup>a</sup>	19.93	19.81 $\pm$ 2.00 <sup>a</sup>	-0.74

注:同一列数值右上角标有不同字母表示组间存在显著差异( $P < 0.05$ )

Note: Data within the same column with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

各饥饿组刺参在饥饿结束时的  $D_o$  较实验开始时均有下降(图 2)。T5、T10、T15、T20 组刺参饥饿后  $D_o$  显著低于对照组水平( $P < 0.05$ ),除 T10 组和 T15 组之间的刺参  $D_o$  差异不显著( $P > 0.05$ )外,其余各组间刺参  $D_o$  差异显著( $P < 0.05$ )。

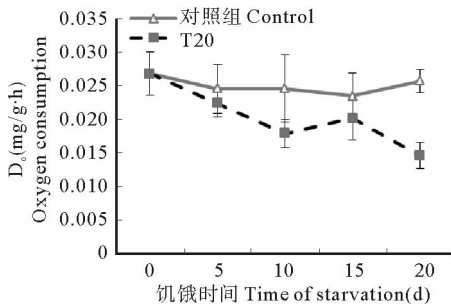
图 1 连续饥饿和正常投喂条件下刺参  $D_o$  的比较

Fig. 1 Comparison of oxygen consumption of *A. japonicus* during starvation and feeding periods

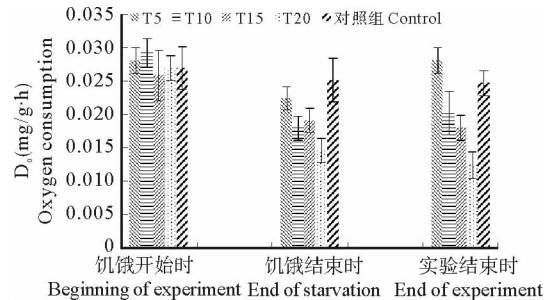
图 2 饥饿和恢复投喂对刺参  $D_o$  的变化

Fig. 2 Effects of starvation and refeeding on oxygen consumption of *A. japonicus*

恢复投喂对刺参  $D_o$  的影响是显著的(图 2)。实验结束时, T5 组刺参  $D_o$  恢复且略超对照组水平( $P > 0.05$ )外, T10、T15、T20 组刺参  $D_o$  仍维持在较低的水平,均未能恢复至对照组水平( $P < 0.05$ )(表 3)。

### 2.3 饥饿及恢复投喂对刺参 $N$ 的影响

对 T20 组的连续监测结果表明,刺参的  $N$  在饥饿开始后就急剧上升,饥饿 15d 时达到峰值,此时与对照组比较,变化显著( $P < 0.05$ ),15d 后又转为下降。而对照组刺参的  $N$  在实验期间基本保持稳定,变化不显著( $P > 0.05$ )(图 3)。

饥饿结束时,除 T20 组外, T5、T10、T15 组刺参的  $N$  显著高于对照组刺参的  $N$  ( $P < 0.05$ ),各组之间刺参  $N$  差异显著( $P < 0.05$ )(图 4、表 3)。

恢复投喂后,各饥饿组刺参  $N$  开始出现不同程度的下降,但实验结束时,除 T5 组刺参  $N$  基本恢复至饥饿开始时的水平外, T10、T15 和 T20 组刺参的  $N$  均未能恢复至实验开始时的水平( $P < 0.05$ )。除 T15 和 T20 组之间外,其余各组之间刺参  $N$  差异显著( $P < 0.05$ )(表 3)。

### 2.4 饥饿及投喂状态下刺参 O/N 比值的变化

刺参的 O/N 比值随着饥饿时间的延长而降低,至 10 d 后稳定在一定水平,但与实验开始时的比值相比,下降显著( $P < 0.05$ )(表 2)。

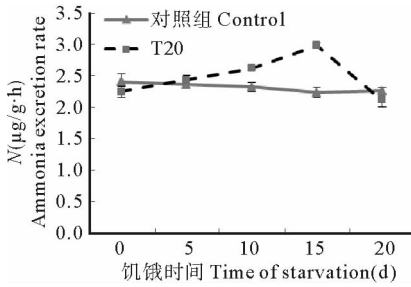


图 3 连续饥饿和正常投喂条件下刺参 N 的比较  
Fig. 3 Comparison of ammonia excretion rate of *A. japonicus* during starvation and feeding periods

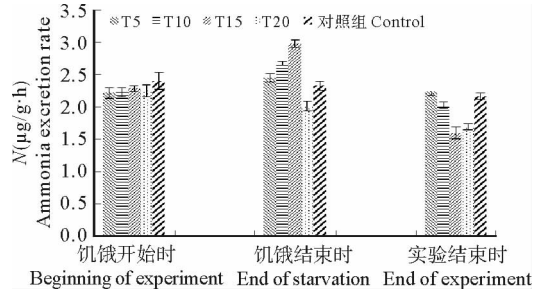


图 4 饥饿和恢复投喂后刺参 N 的变化  
Fig. 4 Effects of starvation and refeeding on ammonia excretion rate of *A. japonicus*

表 2 刺参 T20 组和 T0 组的 O/N 值变化  
Table 2 Change of O/N ratio of *A. japonicus* in T20 and T0

时间 Time(d)	T20	T0
0	11.99 ± 0.99 <sup>c</sup>	11.21 ± 0.84
5	9.24 ± 0.62 <sup>b</sup>	10.49 ± 1.67
10	6.88 ± 0.84 <sup>a</sup>	10.70 ± 2.35
15	6.79 ± 1.15 <sup>a</sup>	10.57 ± 1.49
20	6.93 ± 0.83 <sup>a</sup>	11.48 ± 0.98

注:同一列数值右上角标有不同字母表示组间存在显著差异( $P < 0.05$ )

Note: Data within the same column with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

饥饿结束时,各饥饿处理组刺参的 O/N 比值较实验开始时有不同程度的下降。实验结束时,T5 组及 T15 组刺参的 O/N 值与饥饿前水平差异不显著( $P > 0.05$ );T10 组、T20 组刺参在实验结束时,O/N 值均显著低于实验开始时的水平( $P < 0.05$ )(表 3)。

表 3 刺参  $D_o$ 、N 及 O/N 随不同饥饿-再投喂时间的变化  
Table 3 Oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and O/N ratio of *A. japonicus* in different treatments

组别 Treatment	时期 Period	$D_o$	N	O/N 值
		Oxygen consumption rate(mg/g · h)	Ammonia excretion rate(µg/g · h)	O/N ratio
T0(Control)	实验开始时 Beginning of experiment	0.026 83 ± 0.003 207 <sup>a</sup>	2.388 ± 0.131 <sup>A</sup>	11.24
	饥饿结束时 End of starvation	0.025 05 ± 0.003 229 <sup>a</sup>	2.315 ± 0.0654 <sup>A</sup>	10.82
	实验结束时 End of experiment	0.024 61 ± 0.001 902 <sup>a</sup>	2.150 ± 0.0471 <sup>A</sup>	11.45
T5	实验开始时 Beginning of experiment	0.027 97 ± 0.001 899 <sup>b</sup>	2.201 ± 0.0777 <sup>A</sup>	12.70
	饥饿结束时 End of starvation	0.022 36 ± 0.001 749 <sup>a</sup>	2.438 ± 0.0617 <sup>B</sup>	9.17
	实验结束时 End of experiment	0.027 97 ± 0.001 900 <sup>b</sup>	2.222 ± 0.0617 <sup>A</sup>	12.59

续表 3

组别 Treatment	时期 Period	D <sub>0</sub>	N	O/N 值 O/N ratio
		Oxygen consumption rate(mg/g · h)	Ammonia excretion rate(μg/g · h)	
T10	实验开始时 Beginning of experiment	0.029 10±0.002 144 <sup>b</sup>	2.212±0.0642 <sup>B</sup>	13.16
	饥饿结束时 End of starvation	0.017 89±0.001 806 <sup>a</sup>	2.654±0.0309 <sup>C</sup>	6.74
	实验结束时 End of experiment	0.020 12±0.003 247 <sup>a</sup>	2.016±0.0471 <sup>A</sup>	9.98
T15	实验开始时 Beginning of experiment	0.025 73±0.003 829 <sup>b</sup>	2.273±0.0471 <sup>B</sup>	11.32
	饥饿结束时 End of starvation	0.019 01±0.001 778 <sup>a</sup>	2.963±0.0617 <sup>C</sup>	6.42
	实验结束时 End of experiment	0.017 90±0.001 908 <sup>a</sup>	1.584±0.0943 <sup>A</sup>	11.30
T20	实验开始时 Beginning of experiment	0.026 84±0.001 912 <sup>b</sup>	2.233±0.0895 <sup>C</sup>	12.02
	饥饿结束时 End of starvation	0.014 53±0.001 829 <sup>a</sup>	1.996±0.0777 <sup>B</sup>	7.28
	实验结束时 End of experiment	0.012 31±0.001 963 <sup>a</sup>	1.677±0.0471 <sup>A</sup>	7.34

注:同一列数值右上角标有不同字母表示组间存在显著差异( $P < 0.05$ )。T0 数据为间隔测定

Note: Data within the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). The data of T0 were measured at intervals

### 3 讨论

#### 3.1 饥饿及恢复投喂对刺参生长的影响

一般来说,鱼类和甲壳动物在遭受饥饿或营养不足的胁迫后,恢复正常摄食后普遍存在“补偿生长”现象(吴立新等 2000),如虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* (Dobson *et al.* 1984) 和中国对虾 *Penaeus chinensis* (吴立新等 2001)。但本研究表明,经过饥饿处理后的刺参体重及 SGR 均小于正常投喂的对照组水平,且随着饥饿时间的延长,恢复体重能力不断下降。可见,刺参不具备补偿生长的能力,饥饿会降低刺参的生长速度,饥饿时间越长,影响其生长的程度就越大。这与周玮等(2009)报道的刺参幼苗(体重 2.5g 左右)饥饿后未出现补偿生长现象相一致。刺参不具有补偿生长能力的原因可能与其摄食习性有关。刺参通过触手获取沉积物中的有机物,包括微生物及动植物有机碎屑,因此对食物的主动选择性很低,只要颗粒大小合适,就会摄食(常亚青等 2004;周玮等 2009)。本研究还发现,T15 组和 T20 组的刺参在整个实验结束时(40 d),均出现了持续性生长阻滞现象,这可能由于饥饿时间超过 10 d,超出了刺参对饥饿的承受范围,即便再投喂,在有限时间内其消化器官未能恢复至正常功能,这与中间球海胆饥饿再投喂研究结果相似(秦艳杰等 2011)。因此在刺参人工养殖过程中,不但要保证饵料新鲜,还要提供充足的饵料,否则会造成不可补偿的生长停滞。

#### 3.2 饥饿及恢复投喂对刺参 D<sub>0</sub> 影响

本研究发现,随着饥饿时间的延长,刺参 D<sub>0</sub> 的变化规律是进入停食状态后逐渐降低,饥饿 10 d 后又逐步上升,饥饿到 15 d 后又转为下降。这与邓利等(1999)对南方鲷长时间饥饿的研究结果相似,南方鲷的代谢率变化呈下降、稳定、再下降、再稳定的规律,认为这是南方鲷在食物缺乏环境下的一种适应过程。Mehner 等(1994)研究幼鲈 *Perca fluviatilis* 在长期饥饿状态下能量代谢的变化,鱼体对能量的利用存在两个相冲突的适应性要求:一是通过降低代谢水平减少能量消耗;二是尽可能将代谢维持在一定水平上,以保证在重新获得食物供应或受到其他环境危害时能产生一定的应激反应。本研究中刺参的代谢水平在饥饿过程中出现阶段性变化,可能正是由于这两种相互拮抗的适应性反应发生交替所致的主导作用。类似的“下降-上升(或稳定)”变化现象,同样出现于中间球海胆 *Strongylocentrotus intermedius* (李霞等 2004;秦艳杰等 2011)和刺参苗种上(周玮等 2009)。

摄食后 D<sub>0</sub> 的变化体现了动物对食物的消化和吸收、蛋白质的合成与转运以及含氮废物的合成等代谢过

程的能量需求(Jobling 1993)。南方鲈恢复摄食后,  $D_0$  迅速升高, 在摄食(16~36)h 后  $D_0$  缓慢下降到标准水平(李 治等 2005)。本研究刺参恢复投喂后, T5 组和 T10 组刺参  $D_0$  有所上升, 可能由于体内代谢逐渐加快, 活动性和活动范围变大所致。T15 组和 T20 组刺参的  $D_0$  在实验结束时继续下降, 可能与刺参饥饿时间过长, 无法恢复正常摄食及代谢有关。

### 3.3 饥饿及恢复投喂对刺参 N 的影响

研究表明, 刺参 N 在饥饿初期(0~5)d 保持在初始水平, 说明刺参在这一短时间的饥饿阶段具有保持正常应激状态的代谢水平(张 波等 2000); 在饥饿 15 d 内 N 显著上升( $P < 0.05$ ), 说明该阶段刺参主要利用蛋白质供能; 饥饿 15d 后 N 又显著下降( $P < 0.05$ ), 说明饥饿到 15 d 时刺参的蛋白质供能比例发生变化。不同动物饥饿后的 N 变化差异, 可能是由不同种类动物对饥饿耐受力及代谢水平和机体能量来源不同所致(单乐州等 2007)。

随着饥饿时间的延长, 水产动物消化器官也会受到不同程度的影响, 如胃壁变薄、肠管收缩、腺体萎缩等, 恢复投喂后, 消化器官主要结构有所恢复, 但较长饥饿时间会对机体消化器官造成难以恢复的损害(秦艳杰等 2011)。本研究在实验结束时只有 T5 组的刺参的 N 恢复到了对照组水平, 其余各饥饿组刺参 N 均低于对照组水平。推测是因为刺参经历长时间饥饿后, 消化器官或摄食功能并未恢复至正常造成的。有关刺参在不同饥饿时间下消化器官的损害程度和恢复能力有待于进一步研究和探讨。

### 3.4 刺参体内能量物质的利用

O/N 表示生物体内蛋白质与脂肪和碳水化合物分解代谢的比率, O/N 比值大, 表明动物消耗的能量较少部分由蛋白质提供, 多数由脂肪和碳水化合物提供。Mayzaud(1976)研究表明, 如果完全由蛋白质提供能量, O/N 约为 7; 如果是蛋白质和脂肪氧化供能, O/N 约为 24(Ikeda 1974); 如果主要由脂肪或碳水化合物供能, O/N 将变为无穷大(Conover *et al.* 1968)。

水产动物饥饿后利用机体能源物质的顺序不同。美国红鱼优先利用脂肪和碳水化合物(姜志强等 2002); 真鲷 *Pagrosomus major* 在饥饿过程中主要以蛋白质为能源(Prim *et al.* 1976); 中间球海胆饥饿后能源物质的利用顺序为: 蛋白质+糖类、蛋白质、蛋白质+糖类(秦艳杰等 2011)。与其他海参一样, 刺参体内碳水化合物含量很少, 在长期饥饿状态下, 主要通过消耗脂肪和蛋白质提供能量(Prim *et al.* 1976; Jayasree *et al.* 1994)。刺参在饥饿开始后 O/N 比值下降, 饥饿 5 d 内, 其代谢所需能量主要由脂肪和碳水化合物提供。刺参在休眠和非休眠性停食期间不仅代谢强度和体重下降, 体组织内的脂肪和蛋白质也会被大量消耗(包 杰 2008)。随着饥饿时间的延长, 耗氧率下降, 排氨率增加, 致使 O/N 降低到 7 以下, 这是由于刺参体内碳水化合物和脂肪相对含量的减少且消耗速度也减慢, 此时刺参代谢所需要的能量更多是由蛋白质提供。

## 参 考 文 献

- 邓 利, 张 波, 谢小军. 1999. 南方鲈继饥饿后的恢复生长. 水生生物学报, 23(2): 167-173
- 包 杰. 2008. 环境因子对青刺参和红刺参(*Apostichopus japonicus*)代谢与生长及其机制的影响. 见: 中国海洋大学博士研究生学位论文, 81-83
- 张 波, 谢小军. 2000. 南方鲈的饥饿代谢研究. 海洋与湖泊, 31(5): 480-483
- 吴立新, 董双林. 2000. 水产动物继饥饿或营养不足后的补偿生长研究进展. 应用生态学报, 11(6): 943-946
- 吴立新, 董双林, 田相利. 2001. 中国对虾继饥饿后的补偿生长研究. 生态学报, 21(3): 452-457
- 李 霞, 秦艳杰, 李颖逾. 2004. 中间球海胆饥饿代谢研究. 中国水产科学, 11(4): 302-306
- 李 治, 谢小军, 曹振东. 2005. 摄食对南方鲈耗氧和氨氮排泄的影响. 水生生物学报, 29(3): 247-252
- 杨 凤, 张跃环, 闫喜武, 张国范. 2008. 饥饿和再投喂对青蛤(*Cyclina sinensis*)幼虫生长、存活及变态的影响. 生态学报, 28(5): 2052-2059
- 单乐州, 闫茂仓, 吴洪喜, 邵鑫斌, 谢起浪. 2007. 饥饿及恢复投喂对鲆幼鱼生长、耗氧率和排氨率的影响. 水产学报, 31(S1): 45-51
- 周 玮, 桑田成, 苏延明, 任福海. 2009. 饥饿对仿刺参苗种生长及呼吸代谢的影响. 大连水产学院学报, 24(S1): 77-80
- 姜志强, 贾泽梅, 韩延波. 2002. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制. 水产学报, 26(1): 67-72
- 郭海燕, 王昭萍, 于瑞海, 王 芳, 林志华. 2007. 饥饿对大西洋浪蛤耗氧率和排氨率的影响. 海洋科学, 31(9): 30-33

- 秦艳杰,李霞,吴立新,周一兵. 2011. 饥饿和再投喂对中间球海胆代谢和生长的影响. 大连海洋大学学报, 26(6):521-525
- 常亚青,丁君,宋坚,杨威. 2004. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京:海洋出版社
- 谢小军,邓利,张波. 1998. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 22(2):181-188
- Conover RJ, Corner EDS. 1968. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their lifecycles. J Mar Biol Assoc UK 48(1):49-75
- Dobson SH, Holmes RM. 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol 25(6):649-656
- Ikedo T. 1974. Nutrition ecology of marine zooplankton. Mem Fac Fish Hokkaido Univ 22:1-97
- Jayasree V, Parulekar AH, Wahidulla S and 1 other. 1994. Seasonal changes in biochemical composition of *Holothuria leucospilota* (Echinodermata). India J Mar Sci 23(2):117-119
- Jobling M, Meloy OH, dos Santos D and 1 other. 1994. The compensatory growth response of the Atlantic cod; effects of nutritional history. Aquaculture Inter 2(2):75-90
- Jobling M. 1993. Bioenergetics; feed intake and energy partitioning. London: Chapman & Hall, 1-44
- Lares MT, Pomory CM. 1998. Use of body components during starvation in *Lytechinus variegates* (Lamarck) (Echinodermata: Echinoidea). J Exp Mar Biol Ecol 225(1):99-106
- Mayzaud P. 1976. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton IV. The influence of starvation on the metabolism and biochemical composition of some species. Mar Biol 37(1):47-58
- Mehner T, Wieser W. 1994. Energetics and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*). J Fish Biol 45(2):325-333
- Moran AL, Manahan DT. 2004. Physiological recovery from prolonged "starvation" in larval of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. J Exp Mar Biol Ecol 306(1):17-36
- Prim P, Lawrence JM, Turner RL. 1976. Protein, carbohydrate and lipid levels of the adult body wall of *Actinopyga agassizi*, *Synaptula hydri-formis* and *Pentacta pygmaea* (Echinodermata: Holothuroidea). Comp Biochem Physiol Part B Comp Biochem 55(2): 307-309

## 《渔业科学进展》编辑部网上投稿启事

为充分利用网络资源,提高编辑办公和期刊出版效率,《渔业科学进展》编辑部已采用期刊网络化办公系统。该系统使投稿、审稿和编辑工作都在同一个网络平台上完成,可大大节省通讯时间,并规范编辑工作流程。同时,网络投稿将以更加友好的界面服务于广大作者,方便作者与编审之间的沟通,为您提供易查、易用、更加方便快捷的服务。

敬请作者访问黄海水产研究所网站(<http://www.yzfri.ac.cn>)的“《渔业科学进展》期刊网上投稿系统”。投稿程序请参看《渔业科学进展》网络化稿件处理系统投稿指南。

如有疑问,请致电 0532-85833580 陈严老师或 0532-85800117 王建坤老师咨询。也可发邮件到《渔业科学进展》编辑部咨询,E-mail: [chenyan@yzfri.ac.cn](mailto:chenyan@yzfri.ac.cn)。

《渔业科学进展》编辑部

2014年2月20日