

饥饿和再投喂对日本囊对虾代谢率的影响

吴立新¹, 刘瑜^{1,2}, 王欣¹, 邓宏相¹

(1 大连水产学院 辽宁省省级高校水生生物学重点实验室, 辽宁 大连 116023; 2 福建省海洋环境与渔业资源监测中心, 福建 福州 350003)

摘要: 研究了体重为 (5.42 ± 0.68) g 的日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 在 (22.0 ± 0.5) °C 下饥饿和再投喂期间代谢率的变化。结果表明: 饥饿至第 30 d 时, 50% 的试验虾死亡; 耗氧率降低为初始值的 24.15%, 并呈现出“急剧下降、稳定、再降低、上升”的阶段变化; 排氮率变化可分为“急剧下降、回升、阶段下降、大幅攀升”4 个阶段, 试验结束时共上升 11.39%。饥饿前 14 d 内, 日本囊对虾以蛋白质和脂肪共同氧化供能, 14~30 d 完全由蛋白质供能; 饥饿 7~14 d 再投喂组, 日本囊对虾的耗氧率及氧氮比均比饥饿结束时大幅增加。

关键词: 日本囊对虾; 饥饿; 再投喂; 耗氧率; 排氮率; 氧氮比

中图分类号: S917 **文献标识码:** A

呼吸和排泄是动物机体内外各因子综合作用的量化反映, 因而动物学家将其引入生物能量学、营养生理和生态学研究, 以期了解动物的代谢规律、营养需求和养殖特性^[1]。甲壳动物是水生动物中的一个重要类群, 在其生命周期中经常面临饥饿胁迫。因此, 研究饥饿对甲壳动物代谢率的影响, 不仅有助于揭示其适应饥饿胁迫的生理生态对策, 而且对养殖生产实践也有一定的指导意义。有关甲壳动物的代谢研究已有一些资料^[2-5], 但关于饥饿和再投喂过程中甲壳动物代谢率的变化尚未见报道。本试验中, 作者以日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 为研究对象, 研究了饥饿和再投喂对其耗氧率、排氮率的影响, 旨在为丰富甲壳动物饥饿生理生态学、生物能量学研究提供新的资料, 同时为科学养殖日本囊对虾提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验虾的来源与暂养

试验用日本囊对虾购自大连市长兴市场, 体重为 (5.42 ± 0.68) g 共计 40 尾, 运回实验室后在塑料水槽 ($0.8 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$) 中驯养一周。驯养期间, 静水、连续充气, 日换水量为 1/2 水温为 (22.0 ± 0.5) °C, pH 为 7.0~8.0 盐度

为 30~32 溶解氧 ≥ 5.0 mg/L, 总氨氮 ≤ 0.5 mg/L。每天投喂 2 次 (8:00 和 16:00), 饲料为鲜蛤肉, 投饵量以投饵 4 h 后尚有少量残饵为准。

1.2 方法

选取大小相近的试验虾 20 尾, 分别放入 20 个流水式呼吸瓶 (3 L 锥形瓶) 中, 并将此呼吸瓶置于循环水族箱内。驯养一周后开始试验。用碘量法测定溶解氧, 用次溴酸盐氧化法测定总氨氮。试验结束后, 用滤纸吸干虾体表的水分, 并用 MP500B 型电子天平称量试验虾体重 (精确至 0.01 g)。

1.2.1 饥饿代谢试验 设 2 个空白对照组和 10 个饥饿组 (单尾虾)。停食 12 h 后开始试验, 记为饥饿初始时间 (饥饿 0 d)。分别于饥饿 0、2、3、5、7、10、14、18、22、26、30 d 测定耗氧率和排氮率。测定时清洗锥形瓶, 更换新鲜海水, 用塑膜封口, 试验时间持续 2~3 h, 保证试验结束时溶解氧 ≥ 5.0 mg/L。

1.2.2 再投喂代谢试验 在饥饿代谢试验的同时另设 10 个饥饿组, 分别于饥饿第 7 d 和第 14 d 时, 随机选出 5 尾虾进行恢复喂食, 所用饲料及投喂方法同驯养阶段。在恢复投喂后第 2 d 和第 6 d 测定其代谢率, 其中饥饿 7 d 再恢复投喂 6 d 记为 S7F2-6 组, 饥饿 14 d 再恢复投喂 6 d 记为 S14F2-6

收稿日期: 2006-01-16

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金项目资助 (20021049); 留学回国人员科研启动基金资助项目 (2005-383); 辽宁省教育厅高等学校科学研究项目资助 (202132030)

作者简介: 吴立新 (1966-), 男, 博士, 教授。E-mail: wulixin@dlfu.edu.cn

组。操作方法同饥饿代谢试验。

1.2.3 耗氧率和排氮率的计算 耗氧率和排氮率的计算公式如下:

$$\text{耗氧率} [(\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h}))] = (C_0 - C_1) V / (W t),$$

$$\text{排氮率} [(\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h}))] = (C'_1 - C'_0) V / (W t),$$

式中: C_0 和 C_1 分别为试验结束时对照组瓶中的溶解氧 (mg/L) 和总氮含量 ($\mu\text{g}/\text{L}$); C'_1 和 C'_0 分别为试验结束时饥饿组瓶中溶解氧和总氮含量; V 为试验瓶容积 (L); W 为试验虾湿体重 (g); t 为试验时间 (h)。

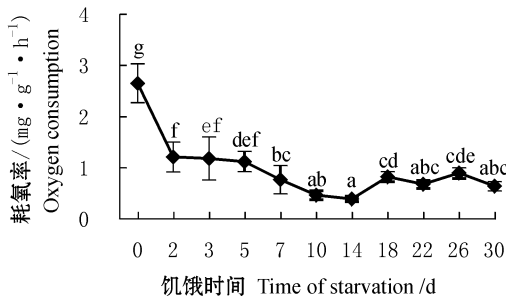
1.3 数据处理

采用 SPSS 12.0 统计软件对数据进行分析, 当单因素方差分析 (One-way ANOVA) 达显著差异后 ($P < 0.05$), 再进行 Duncan 多重比较, 检验各指标在不同时段之间的差异。

2 结果

2.1 饥饿和再投喂对日本囊对虾耗氧率的影响

从图 1 可见, 日本囊对虾在饥饿过程中, 耗氧



注: 同曲线平均值具有不同字母的表示各时段之间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Note: Values with different letters are significantly different at 0.05 level, bars indicate standard deviations of the means

图 1 日本囊对虾饥饿状态下耗氧率的变化

Fig 1 Changes in oxygen consumption in *Marsupenaeus japonicus* during the period of starvation

2.2 饥饿和再投喂对日本囊对虾排氮率的影响

从图 3 可见: 日本囊对虾的排氮率在饥饿开始时为 $112.60 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 饥饿第 2 d 显著下降至 $47.28 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ($P < 0.05$), 第 2~14 d 表现为先上升后下降, 第 14~30 d 则显著上升 ($P < 0.05$)。饥饿结束时, 排氮率较初始时上升了 11.39%。

从图 4 可见: S7F2-6 组在饥饿 7 d 时的排氮率为 $55.85 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 恢复投喂 2 d 后降至 $42.01 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ($P < 0.05$), 至恢复投喂 6 d

率的降低可分为 4 个阶段: 1) 饥饿开始时, 耗氧率为 $2.65 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 至第 2 d 耗氧率下降至 $1.21 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ($P < 0.05$), 降低至初始值的 45.66%; 2) 第 2~5 d 耗氧率呈相对稳定状态; 3) 第 5~14 d 随饥饿时间延长, 耗氧率缓慢下降, 平均为 $(0.69 \pm 0.29) \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 最低降至初始值的 14.72%; 4) 第 14~30 d 耗氧率变化曲线略有所上升, 变幅为 $(0.39 \sim 0.90) \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 平均为 $(0.69 \pm 0.17) \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。至试验结束时, 试验虾有一半死亡。

从图 2 可见: 饥饿 7 d 再投喂组 (S7F2-6), 在恢复投喂 2 d 后, 耗氧率由 $0.77 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 升至 $1.01 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 增加 31.17%, 恢复投喂 6 d 后, 耗氧率降至 $0.84 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 各时段耗氧率变化无显著差异 ($P > 0.05$); 饥饿 14 d 再投喂组 (S14F2-6), 在恢复投喂 2 d 后耗氧率由 $0.39 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 升至 $1.09 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 增加了 179.49%, 恢复投喂 6 d 后降至 $0.69 \text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 各时段耗氧率变化显著 ($P < 0.05$)。

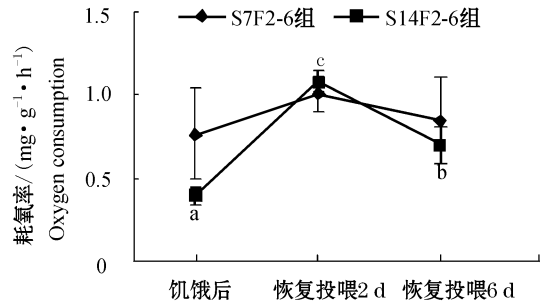


图 2 日本囊对虾饥饿后再投喂时耗氧率的变化

Fig 2 Changes in oxygen consumption in *Marsupenaeus japonicus* during the period of refeeding

后又升至 $52.65 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$; S14F2-6 组在饥饿结束时的排氮率为 $49.99 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 恢复投喂 2 d 后下降为 $35.07 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 至恢复投喂 6 d 时, 排氮率略有上升。

2.3 饥饿和再投喂对日本囊对虾氧氮比 (O:N) 的影响

从图 5 可见, 饥饿 0~2 d 氧氮比维持在 22.33~23.37, 第 2~5 d 迅速下降至 10.78 ($P < 0.05$), 此后缓慢下降, 至第 14 d 降为 6.85, 第 14~30 d 氧氮比维持在一个较低的水平 (6.34 ± 0.47)。

从图 6 可见: S7F2-6 组日本囊对虾饥饿 7 d 后的氧氮比为 11.61, 恢复投喂 2 d 后氧氮比上升至 20.78 ($P < 0.05$), 达到饥饿初始时的水平, 恢复投喂 6 d 后则下降为 14.00 S14F2-6 组日本囊

对虾的氧氮比变化趋势与 S7F2-6 组相同, 饥饿 14 d 后的氧氮比为 6.85, 恢复投喂 2 d 后升至 27.65 ($P < 0.05$), 至恢复投喂 6 d 后又降至 15.66 ($P < 0.05$).

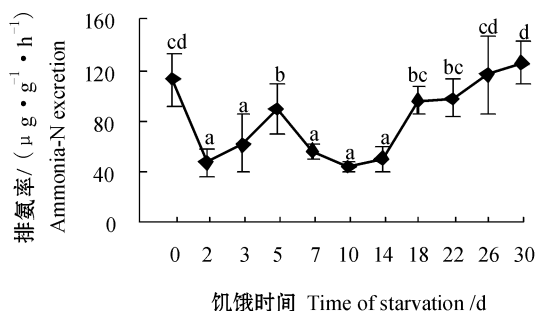


图 3 日本囊对虾饥饿过程中排氨率的变化

Fig 3 Changes in ammonia-N excretion rate of *Marsupenaeus japonicus* during the period of starvation

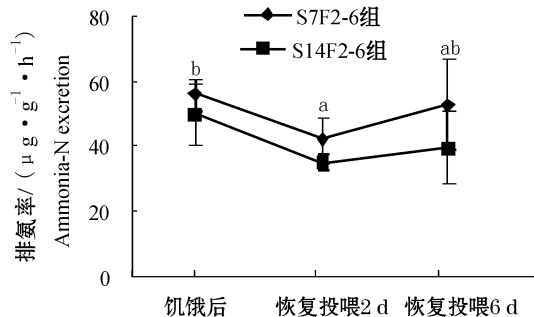


图 4 日本囊对虾饥饿后再投喂时排氨率的变化

Fig 4 Changes in ammonia-N excretion rate in *Marsupenaeus japonicus* during the period of refeeding

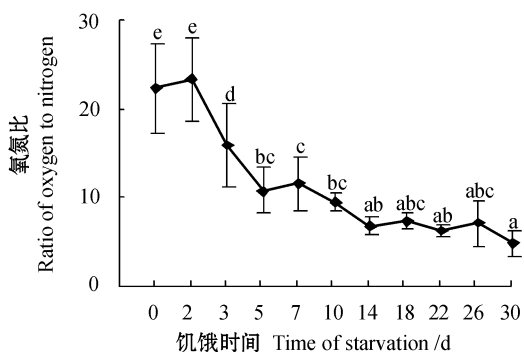


图 5 日本囊对虾饥饿过程中氧氮比的变化

Fig 5 Changes in ratio of oxygen to nitrogen in *Marsupenaeus japonicus* during the period of starvation

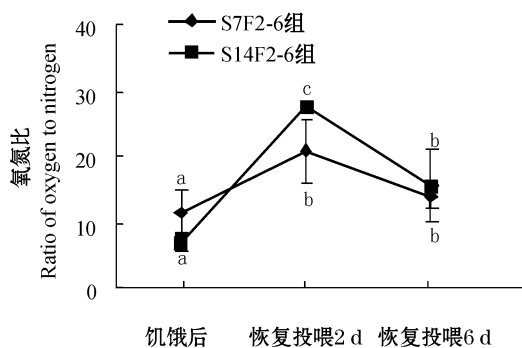


图 6 日本囊对虾饥饿后再投喂时氧氮比的变化

Fig 6 Changes in ratio of oxygen to nitrogen in *Marsupenaeus japonicus* during the period of refeeding

3 讨论

3.1 饥饿状态下日本囊对虾代谢率的变化

饥饿状态下, 水生动物的代谢将进行适应性调整。Regnaul^[4]研究发现, 褐虾 *Crangon crangon* 在饥饿状态下代谢率呈阶段性变化; 张波等^[6]的研究结果表明, 南方鲷 *Silurus meridionalis* 在 156 d 的饥饿过程中, 代谢率表现出“下降—稳定—再下降—再稳定”的变化趋势; 温小波等^[2-3]查明了中华绒螯蟹 *Eriocheir sinensis* 亲蟹和幼蟹在整个饥饿过程中代谢率下降呈波动变化; 斑鳢 *Ophiocphalus maculatus* 在饥饿 90~120 d 时, 耗氧率显著上升至饥饿初始水平, 但整个饥饿阶段耗氧率变化没有相对稳定期^[7]。本研究中, 日本囊对虾在饥饿期间代谢率的变化特征与上述结果有一定的差异, 特别是饥饿初期耗氧率突降, 而饥饿后期又出现小幅回升, 其原因可能是日本囊对虾机体的代谢特征和其

它种类有所不同, 这方面有待于进一步研究。

3.2 饥饿状态下日本囊对虾贮能物质的变化

Harris^[8]提出, 根据氧氮比可以估计甲壳动物能量代谢中能源物质的化学本质。Mazyaud^[9]认为, 完全由蛋白质氧化提供能量, 氧氮比约为 7; Ikeda^[10]认为, 如果是蛋白质和脂肪氧化供能, 氧氮比约为 24。Conover 等^[11]提出, 如果主要由脂肪或碳水化合物供能, 氧氮比将变大, 甚至达无穷大。本研究结果表明: 日本囊对虾在饥饿 0~14 d 内氧氮比由 23.37 降至 6.85, 说明日本囊对虾饥饿初期仍主要以脂肪和蛋白质联合供能; 但随着饥饿时间的延长, 动用蛋白质的比例逐渐增加, 因而氧氮比下降。饥饿第 15~30 d 氧氮比介于 7.30~4.77, 表明此时日本囊对虾完全靠消耗自身的蛋白质来维持生命。Regnaul^[4]研究发现, 褐虾在饥饿末期氧氮比降至 5 以下时已濒临死亡, 这与本试验的研究结果一致。

3.3 再投喂阶段日本囊对虾代谢率和贮能物质的变化

本试验中, 日本囊对虾分别饥饿 7 d 和 14 d 后再投喂 2 d 其耗氧率均显著上升; 再投喂 6 d 后 S7F2-6 组、S14F2-6 组的耗氧率均下降; 随着饥饿时间的延长, 恢复摄食后日本囊对虾耗氧率上升的幅度增大。这与美国红鱼 *Sciaenops ocellatus* 在再投喂期间的代谢特征相似^[12]。

从再投喂期间排氮率的变化可以看出, 日本囊对虾在恢复摄食后首先进行蛋白质的重新积累, 联合脂肪共同供能, 因而再投喂初期排氮率下降; 随着恢复摄食时间的延长, 排氮率又呈上升趋势。可以推测, 如恢复投喂时间进一步延长, 排氮率将恢复至饥饿初始水平。从氧氮比的变化情况来看, 在恢复投喂 2 d 后, S7F2-6、S14F2-6 组日本囊对虾的氧氮比分别由 11.61、6.85 上升至 20.78、27.65, 表明摄食后体内脂肪作为代谢底物的比例增大, 再投喂后主要进行蛋白质的积累, 这可与排氮率变化互相验证。由于恢复投喂 6 d 后, S7F2-6、S14F2-6 组日本囊对虾的氧氮比尚未恢复至饥饿初始水平, 因此可以认为, 其营养物质代谢底物组成、组织结构以及代谢水平还在修复和调整中。有关其代谢机制尚待深入研究。

参考文献:

[1] 周洪琪, 顾功超. 中国对虾幼体的能量代谢 [J]. 水产学报, 1992, 16(2): 167-170

- [2] 温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 中华绒螯蟹幼蟹饥饿代谢研究 [J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(5): 443-446
- [3] 温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 中华绒螯蟹亲蟹的饥饿代谢研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1441-1444
- [4] REGNAULT M. Respiration and ammonia excretion of the shrimp *Crangon crangon* L.: metabolic response to prolonged starvation [J]. J Comp Physiol, 1981, 141: 549-555
- [5] DALL W, SMITH D M. Salinity response of the juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus*. Oxygen consumption and estimation of productivity [J]. Aquaculture, 1986, 55: 297-306
- [6] 张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究 [J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(5): 480-484
- [7] WOO N Y S, CHEUNG S I. Metabolic effects of starvation in the snakehead, *Ophioccephalus maculatus* [J]. Comp Biochem Physiol, 1980, 67: 623-627
- [8] HARRIS E. The nitrogen cycle in Long Island Sound [J]. Bull Bingham Oceanogr Collect, 1959, 17: 31-65
- [9] MAYZAUD P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. The influence of starvation on the metabolism and the biochemical composition of some species [J]. Mar Biol, 1976, 37: 47-58
- [10] KEDA T. Nutritional ecology of marine zooplankton [J]. Mem Fac Fish Hokkaido Univ, 1974, 22: 1-97
- [11] CONOVER R I, CORNER E D S. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles [J]. J Mar Biol Assoc U K, 1968, 48: 49-75
- [12] 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

The effects of starvation and refeeding on metabolism in shrimp (*Marpenaeus japonicus*)

WU Lixin¹, LU Yu^{1,2}, WANG Xin¹, DENG Hong-xiang¹

(1. Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Province's Universities, Dalian Fisheries Univ., Dalian 116023, China

2. Fujian Province Ocean Environment and Fishery Resources Monitoring Center, Fuzhou 350003, China)

Abstract The effects of prolonged starvation and subsequent refeeding on metabolism in shrimp *Marpenaeus japonicus* with initial weights of (5.42 ± 0.68) g were investigated under $(22 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ during July 18 to August 17, 2005. The shrimp starved for 30 days when half shrimp died had oxygen consumption rate and ammonia-N excretion rate as small as 24.15%, and 50% of those fed shrimps, respectively. There were four phases during the course of oxygen consumption and ammonia-N excretion reduction. The oxygen consumption curve was "sharp decrease - stability - regained stability - slightly increase" in the course. The changes in ammonia-N excretion experienced four phases "sharp decrease - ascend - decrease - increased dramatically". Protein and lipid were the first energy sources before 14 days starvation and from day 14 to day 30 protein was the only energy source. Two groups of the shrimps were starved for 7 and 14 days and both refed 2 and 6 days. During the refed period, the oxygen consumption rate and the ratio of O:N were significantly elevated compared to starvation period.

Key words *Marpenaeus japonicus*, starvation, refeeding, oxygen consumption rate, ammonia-N excretion rate, ratio of O:N