

饥饿胁迫下凡纳滨对虾能源物质的消耗

于赫男¹, 林小涛¹, 周小壮^{1,2}, 许忠能¹

(1. 暨南大学水生生物研究所, 广东 广州 510632; 2. 广东省海洋与水产自然保护区管理总站, 广东 广州 510222)

摘要:通过对饥饿 2、4 和 6 d 再恢复投喂 12 d 的凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 体成分组成的分析, 了解饥饿期间能源物质消耗的特点。饥饿状态下, 凡纳滨对虾干物质、脂肪、碳水化合物质量分数和能值下降, 灰分质量分数增加, 蛋白质质量分数无明显变化; 饥饿 6 d, 虾体脂肪消耗程度几乎达到其脂肪总质量分数的 50%, 蛋白质的消耗量仅占其蛋白质总质量分数的 14.8%, 但蛋白质消耗量是脂肪的 5.5 倍; 恢复投喂 12 d 后, 虾体生化组成均恢复到对照组水平。分析认为, 在饥饿过程中, 蛋白质、碳水化合物和脂肪三种能量物质均被消耗, 其中脂肪是被优先利用的能源物质, 而蛋白质是主要的供能物质。

关键词: 凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*); 饥饿; 能源物质

中图分类号: Q955

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2006)12-0043-04

由于自然界捕食者与被捕食者结构与功能的多样性, 及其空间缀块分布和季节更替以及光照、盐度、温度、空间和营养生态位等环境因素的易变性, 大多数野生动物在它们的生活史中将会遭受由食物资源短缺引起的饥饿胁迫。即使在养殖条件下, 也会因投饵不足或环境剧变影响摄食, 造成饥饿。饥饿状态下, 动物的代谢机能发生变化, 只能利用自身的贮存物质如碳水化合物、脂肪和蛋白质提供能量^[1]。不同的动物由于生理特征和食性等因素的差异, 在饥饿状态下对能量物质的利用特点不同^[2~6]。作者以凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 为材料, 研究了其饥饿状态下能源物质的消耗特点, 以期为了解对虾适应饥饿的生理生态对策提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源及驯养

实验于 2003 年 7 ~ 9 月在湛江市东海岛荣达水产种苗基地进行。实验所用凡纳滨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活泼个体。选取体质量符合实验要求的对虾分养于室内塑料水族箱 (45 cm × 35 cm × 30 cm), 每箱放养 6 尾, 驯养 7 d 后开始实验。每天投喂过量配合饲料 2 次 (7:00 和 16:00), 每次投喂后 1.5 h 采用虹吸法清除残饵和粪便等。饲养用海水为苗场蓄水池中经沉淀和砂滤处理后的天然海水, 使用前再用生物棉过滤。实验期间水族箱内连续充气, 每隔 2 d 换水 1/3, 使溶

氧保持保持在 5.5 mg/L 以上, 水温 28.3 ± 1.1, 盐度为 28 ~ 30, pH 7.43 ~ 7.89, 采用室内自然光。

1.2 实验方法

驯化结束后选取体质量相近 (5.042 g ± 0.023 g) 的凡纳滨对虾进行实验, 随机取 3 箱共 18 尾虾作为实验初始样本。本实验主要通过分析不同饥饿时间和恢复投喂后虾体生化组分和能值的变化来考察凡纳滨对虾在饥饿状态下能源物质消耗的特征。为此, 实验设饥饿处理组 S₂, S₄, S₆ 3 组, 相应对照组 C₂, C₄, C₆ 3 组, 总共 6 组。每组 6 个平行水族箱, 每箱 6 尾, 共 36 尾虾。S₂, S₄ 和 S₆ 组对虾分别饥饿 2、4 和 6 d 后恢复投喂 12 d, 相应对照组持续投喂。各实验组分别在饥饿结束时以及恢复投喂的第 12 d (即实验结束时) 取样, 每次各取每组 3 箱的 18 尾虾。为防止对虾互相残杀, 各饥饿组在饥饿期间将虾放入周围穿孔的塑料杯 (孔径 0.5 cm, 杯直径 10 cm), 每杯置 1 尾虾, 饥饿结束后将杯移走。为消除个体误差, 将烘干称质量后的同一箱 6 尾虾研磨成粉状后混合为一份样

收稿日期: 2006-01-04; 修回日期: 2006-09-14

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (04010453); 广东省教育厅“千百十工程”优秀人才培养基金资助项目 (Q02061)
作者简介: 于赫男 (1979-), 女, 吉林伊通人, 博士研究生, 研究方向为水生动物学; 林小涛, 通讯作者, E-mail: tlinxt@jnu.edu.cn

品,密封置入 - 20 °C 冰箱保存,以备测定。

分别采用 70 °C 常压干燥法、凯氏定氮法、索氏抽提法及 550 °C 灼烧法测定虾体干物质、粗蛋白、脂肪和灰分质量分数;采用减量法求得碳水化合物质量分数;采用德国产 IKA C4000 型氧弹式热量计测定虾体能值。粗蛋白、脂肪、灰分和碳水化合物质量分数均为占干质量的百分比,每组数据均用平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示。

采用 SPSS 11.0 统计软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 干物质质量分数的变化

图 1A 表示饥饿后以及恢复投喂后凡纳滨对虾干物质质量分数的变化。饥饿使虾体干物质质量分数急剧下降,饥饿 6 d 虾体干物质质量分数由初始的 25.68% 降至 21.97%。恢复投喂 12 d 后,干物质质量分数升高,与对照组无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 脂肪质量分数的变化

图 1B 表示饥饿后以及恢复投喂后凡纳滨对虾脂肪质量分数的变化。饥饿状态下脂肪质量分数逐渐降低,饥饿 2, 4, 6 d 的虾体脂肪质量分数由初始 3.97% 分别降至 2.73%, 2.62%, 2.33%, 与对照组差异极显著($P < 0.01$)。饥饿时间越长,脂肪质量分数的下降幅度越大,相应地,恢复投喂后脂肪质量分数的回升幅度也越大。恢复投喂 12 d, 各饥饿组脂肪质量分数与对照组已无显著差异($P > 0.05$)。

2.3 灰分质量分数的变化

图 1C 表示饥饿后以及恢复投喂后凡纳滨对虾灰分质量分数的变化。饥饿 2, 4, 6 d 后虾体灰分质量分数极显著高于对照组($P < 0.01$), 但各饥饿组间无显著差异($P > 0.05$)。恢复投喂 12 d, 各组灰分质量分数都下降至与对照组无显著差异的水平($P > 0.05$)。

2.4 蛋白质质量分数的变化

图 1D 表示饥饿后以及恢复投喂后凡纳滨对虾蛋白质质量分数的变化。饥饿 2 d 的虾体蛋白质质量分数下降,而饥饿 4 和 6 d 的虾体蛋白质质量分数有升高的趋势,但所有饥饿组都与对照组在统计学上无显著差异($P > 0.05$)。恢复投喂后, S_2 的蛋白质质量分数升高, S_4 和 S_6 则降低,但均与对照组的差异不显著($P > 0.05$)。

2.5 碳水化合物质量分数的变化

图 1E 表示饥饿后以及恢复投喂后凡纳滨对虾碳水化合物质量分数的变化。饥饿 2 d 虾体碳水化合物质量分数略微上升,但与对照组无显著差异($P > 0.05$);饥饿 4 和 6 d 的凡纳滨对虾碳水化合物质量分数显著低于对照组($P < 0.05$)。恢复投喂 12 d 后, S_4 和 S_6 的碳水化合物质量分数则上升并超过对照组,但差异不显著($P > 0.05$)。

2.6 能值的变化

图 1F 表示饥饿后以及恢复投喂后凡纳滨对虾能值的变化。饥饿 2 d, 虾体能值略有降低,但与对照组无显著差异($P > 0.05$);饥饿 4 和 6 d, 能值显著低于对照组($P < 0.05$), 且各饥饿组间能值有极显著差异($P < 0.01$)。恢复投喂 12 d 后, 各组能值已恢复至对照组水平($P > 0.05$)。

2.7 饥饿期间能源物质的消耗

由表 1 可见, 凡纳滨对虾能源物质消耗量及占其总质量分数的比例均随饥饿时间的延长逐渐增大。其中蛋白质的消耗量最大, 在饥饿 6 d 后达到 0.134 g, 是脂肪消耗量的 5.5 倍。但是从能源物质消耗量占其总质量分数的比例来看, 脂肪的消耗程度最大, 在饥饿 6 d 后达到 49.57%。

表 1 能源物质消耗量及占其总质量分数的比例

Tab. 1 The amount of energy substances utilized and its proportion in energy substances content

饥饿时间 (d)	消耗量(g)		
	脂肪	蛋白质	碳水化合物
2	0.017(34.05)	0.082(9.01)	0.006(3.45)
4	0.019(38.77)	0.106(11.43)	0.045(26.62)
6	0.024(49.57)	0.134(14.77)	0.053(31.27)

注: 括号内数字为占其总质量分数的比例(%)

3 讨论

饥饿状态下, 动物没有食物来源的能量收入, 其能量代谢机制发生变化, 并动用自身的主要储能物质如脂肪、蛋白质和碳水化合物等为生命活动供能^[1]。一般可以采用直接和间接两种方法来了解饥饿期间动物利用机体储能物质的特点和规律。直接法是测定饥饿前后动物身体化学组成的变化; 间接法是利用实验装置测定耗氧量、二氧化碳排放量及氮排量等指标的变化, 通过这几者之间的定量关系来估算动物饥饿代谢时各供能物质的消耗量及其比例^[7]。本研究采用直接法, 即根据能源物质相对含量和绝对量的变化情况分析饥饿状态下凡纳滨对虾对能量物质的利用特点。

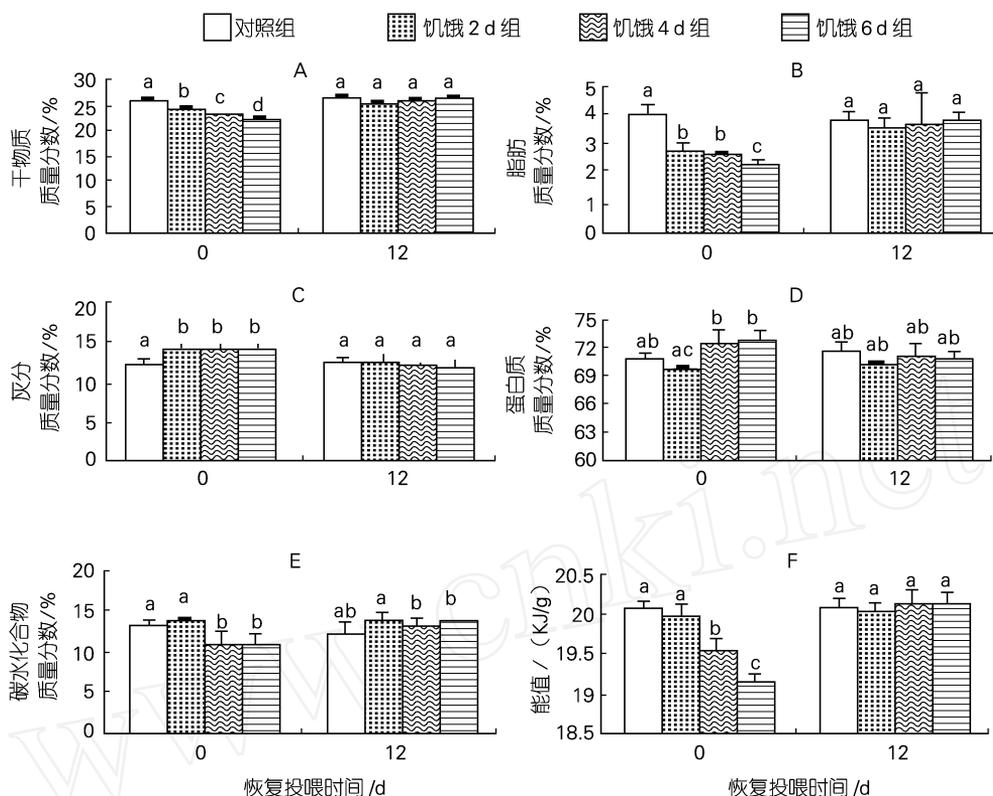


图 1 饥饿后和恢复投喂后凡纳滨对虾生化组成和能值的变化

Fig. 1 The changes of biochemical composition and energy in *L. vannamei* after starvation and refeeding

本研究结果表明,经 2,4 和 6 d 饥饿,凡纳滨对虾脂肪、蛋白质和碳水化合物的消耗程度均随饥饿时间的延长逐渐增大。饥饿 6 d 后,虾体脂肪的消耗程度几乎达到脂肪总质量分数的 50%,碳水化合物为 31.3%,而蛋白质的消耗量仅占蛋白质总质量分数的 14.8%。因此可以认为,在 3 种能源物质中,凡纳滨对虾优先利用脂肪,其次为碳水化合物和蛋白质。Stirling^[8]、Jobling^[9]、温小波等^[10]对狼鲈 (*Dicentrarchus labrax*)、鲈 (*Pleuronectes platessa* L.) 和中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 的研究也取得相似的结果,反映了一般水生动物在饥饿胁迫下的能量代谢特征。

不同水生动物在饥饿期间的主要供能物质或许不同,即使是同一种类,也因所处的环境条件或发育阶段而异。Barclay^[11]采用间接法测得美味对虾 (*Penaeus esculentus*) 的 O/N 比由饱食状态的 (13.6 ~ 16.4) 降低至饥饿 5 ~ 15 d 后的 7.1,意味着蛋白质是饥饿时最重要的供能物质。独角新对虾 (*Metapenaeus monoceros*) 饥饿 15 d 期间蛋白质和脂

肪氧化供能分别占 54.32% 和 43.31%,而碳水化合物仅占 2.17%^[12]。罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*) 在断食情况下,当温度低于最适温时 (20 °C),主要由脂肪供能,超过最适温时 (32 °C),主要靠氧化蛋白质供能^[13]。姜志强等^[14]采用直接法分析了美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 饥饿期间能量物质的消耗,发现饥饿时蛋白质含量略有下降,但脂肪含量明显下降,认为美国红鱼在饥饿过程中主要利用脂肪来作为能量的补充。但他们的研究只测定了鱼体生化组分的相对含量,而没有进一步考察能源物质的绝对消耗量。本研究结果显示,饥饿期间凡纳滨对虾脂肪和碳水化合物质量分数降低,而蛋白质质量分数没有明显变化。但从能量物质消耗的绝对量来看,饥饿 2,4 和 6 d 后,凡纳滨对虾体内蛋白质减少量依次为 0.082, 0.106 和 0.134 g,是同时期脂肪消耗量的 5 倍左右。饥饿 2 d 后能量物质消耗量大小顺序为:蛋白质 > 脂肪 > 碳水化合物;饥饿 4 和 6 d 后均为:蛋白质 > 碳水化合物 > 脂肪,故这 3 种能源物质在饥饿过程中均被消耗,但蛋白质是饥饿期间最主要的供能

物质。可以看出,用直接法研究动物能源物质消耗时,如果单纯考察生化组分的相对含量变化仅能确定何种能源物质被优先利用,并不能正确判断何种物质是主要供能物质。因为即使饥饿期间各生化组分的相对含量不发生变化,但由于身体总的干物质质量减少,机体能源物质的绝对量也会有不同程度的减少。因此有必要对能量物质的消耗进行定量分析,才能确定饥饿期间的主要供能物质。

从生理角度考虑,动物体蛋白质主要用于体组织的维持、更新、修复及机体生长,脂肪、碳水化合物等则主要用于提供能量^[7,15]。但与陆生动物相比,水生动物尤其是海水种类由于对碳水化合物利用能力较低,所以对食物中蛋白质需求量较大^[16],且趋向于利用更大比例的蛋白质作为能源^[17]。饥饿胁迫下,凡纳滨对虾优先利用其体质量分数最少但产热量最高的脂肪作能源,但从消耗的绝对量来看,其体质量分数最高的蛋白质则成为最主要的供能物质。这种能量代谢的特点与凡纳滨对虾的体成分组成及营养生理是相适应的。饥饿时,由于凡纳滨对虾通过分解自身的贮能物质提供能量,体内有机物含量和能值减少,而水分和灰分质量分数上升。恢复投喂后,有机物含量及能值增加,水分和灰分质量分数相对减少。恢复投喂 12 d,经历各饥饿时间的虾体的生化组成和能值均恢复到对照组水平。

参考文献:

- [1] Machado C R, Garofalo A R, Migliorini R H. Effects of starvation, refeeding and insulin on energy link metabolic press in catfish (*Rhamdio hilarii*) adapted to a carbohydrate-rich diet [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 1988, 71: 429-437.
- [2] 沈文英,林浩然,张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响[J]. *动物学报*, 1999, 45 (4): 404-412.
- [3] 翁幼竹,李少菁,王桂忠. 饥饿对锯缘青蟹幼体生化组成的影响[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2002, 41 (1): 84-88.
- [4] Comoglio L, Smolko L, Amin O. Effects of starvation on oxygen consumption, ammonia excretion and biochemical composition of the hepatopancreas on adult males of the False Southern King crab *Paralomis granulose* (Crustacea, Decapoda) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part B, 2005, 140: 411-416.
- [5] Ourazo B E, Viana M T, D Abramo L R. Effects of starvation and dietary lipid on the lipid and fatty acid composition of muscle tissue of juvenile green abalone (*Haliotis fulgens*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 238: 329-341.
- [6] Weatherley A H, Gills H S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. *J Fish Biol*, 1981, 18: 195-208.
- [7] 谢小军,邓利,张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究[J]. *水生生物学报*, 1998, 22(2): 181-188.
- [8] Stirling H P. Effects of experimental feeding and starvation on the proximate composition of the European bass, *Dicentrarchus labrax* [J]. *Mar Biol*, 1976, 34: 85-91.
- [9] Jobling M. Effects of starvation on proximate chemical composition and energy utilization of plaice *Pleuronectes platessa* L [J]. *J Fish Biol*, 1980, 17: 325-334.
- [10] 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.
- [11] Barclay M C, Dall W, Smith D M C. Changes in lipid and protein during starvation and the molting cycle in the tiger prawn, *Penaeus esculentus* Haswell [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1983, 68: 229-244.
- [12] Vijayarahavan S, Royan J R, Rao T S S. Effects of different feeding levels on moulting, growth, food conversion efficiency & biochemical composition of the prawn, *Metapenaeus monoceros* [J]. *Indian J Mar Sci*, 1982, 11: 347-349.
- [13] 林小涛,梁旭方,吴杰,等. 温度对罗氏沼虾亲虾代谢的影响[J]. *生态学杂志*, 1999, 18(3): 15-18.
- [14] 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.
- [15] 谭北平,麦康森,周歧存. 贝类营养研究进展[J]. *水产学报*, 1999, 23(2): 193-198.
- [16] 林海. 简明鱼虾饲料手册[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2002. 49-50.
- [17] Brett J R, Groves T D D. *Physiological energetics* [M]. New York: Academic Press, 1979. 65-83.

(下转第 71 页)

Utilization of energy substances during starvation in *Litopenaeus vannamei*

YU He-nan¹, LIN Xiao-tao¹, ZHOU Xiao-zhuang^{1,2}, XU Zhong-neng¹

(1. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Guangdong Province Ocean and Fishery Nature Reserve Management Office, Guangzhou 510222, China)

Received : Jan. 4, 2006

Key words : *Litopenaeus vannamei*; starvation; energy substances

Abstract : The effects of starvation on biochemical composition in *Litopenaeus vannamei* were examined with the aim to study how the shrimps utilize energy substances during starvation. Group S₂, S₄ and S₆ of shrimps, which weighted at 5.042 g ± 0.023 g and reared in seawater at the temperature of 28.3 ± 1.1 °C, were deprived of food for 2, 4 and 6 days, respectively, and then fed formulated diet to satiation for 12 days. The control groups of shrimps were fed to satiation twice a day throughout the experiment. Compared to the control groups, contents of energy, dry matter, lipid and carbohydrate in the shrimps decreased, while the contents of ash increased significantly and the protein content did not significantly change in starved animals. During starvation of 6 days, almost 50 % of lipid content and 14.8 % of protein were consumed, however, the amount of protein utilized was 5.5 times that of lipid. After the starved shrimps were fed for 12 days, biochemical composition in their bodies could be similar to that in the control. The results suggested that during starvation, *L. vannamei* gave priority to using lipid as energy source, but the main energy substance was protein.

(本文编辑:刘珊珊)