

文章编号:1674-7054(2012)01-0011-05

多因子对凡纳滨对虾仔虾能量代谢的影响

张 特¹ 孙成波^{1,2} 关仁磊¹

(1. 广东海洋大学 水产学院 广东 湛江 524025; 2. 广东高校热带海产无脊椎动物养殖工程研究中心 广东 湛江 524025)

摘 要: 通过设置不同温度、盐度、pH 值和摄食状态的处理,研究凡纳滨对虾(*L. vannamei*) 仔虾在不同条件下的无机磷、亚硝酸氮、硝酸氮、氨氮的释放率。结果表明,温度、盐度、pH 值和摄食状态对其代谢存在影响。在 15~30℃ 范围内,随温度的上升,仔虾磷、硝酸氮、氨氮的释放率均上升,30℃ 时,氮、磷释放率最大;盐度在 5~35 范围内,随着盐度的增加,仔虾氮、磷的释放率提高,但盐度为 30 时,仔虾氮、磷释放率最低,其中对氨氮的释放率有极显著的影响($P < 0.01$);pH 值在 6.5~9.0 的范围内,随着 pH 值的升高,磷的释放率显著降低($P < 0.05$),硝酸氮和氨氮释放率极显著增加($P < 0.01$),pH 值 8.5 时,氨氮释放率达到最大,亚硝酸氮释放率无明显变化;摄食状态对仔虾代谢有明显的影响,饱食状态下磷、亚硝酸氮、硝酸氮和氨氮的释放率比饥饿状态下分别提高了 76.2%、50.0%、60.0%、94.7%,表明仔虾摄食时蛋白质代谢增加明显。

关键词: 凡纳滨对虾仔虾; 能量代谢; 温度; 盐度; pH 值; 摄食状态; 氮、磷释放率

中图分类号: Q 955

文献标志码: A

凡纳滨对虾(*L. vannamei*) 原产于美洲太平洋沿岸水域,主要分布于秘鲁北部至墨西哥湾沿岸,在厄瓜多尔沿岸分布最集中,是当今世界上最主要的对虾养殖品种^[1]。以往人们对凡纳滨对虾仔虾生理生态学的研究多集中于仔虾的呼吸、排泄代谢^[2]及仔虾对各环境因子的适应性研究方面^[3]。但有关凡纳滨对虾仔虾在不同环境条件下的能量代谢尚未见报道。研究各种环境因子和内在因素对仔虾氮、磷排泄率的影响,有利于了解动物代谢活动的变化规律,也是生物能量学和营养生理学研究的重要内容^[4]。虾类摄食的能量除了用于生长外,还有 50% 以上的摄入能量被代谢活动消耗掉,当环境条件改变时,动物需要消耗一定的能量以适应环境的变化^[5-6]。笔者从温度、盐度、pH 值和摄食状态等因子对凡纳滨对虾仔虾氮、磷排泄率的影响入手,探索仔虾对环境的适应性规律、自身的内部代谢规律以及代谢强度的变化,旨在为苗种培育和初期养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料 供试的凡纳滨对虾仔虾来自湛江粤海水产种苗有限公司东海岛东南仔虾场,仔虾健康活泼,其平均体长为 (0.80 ± 0.06) cm,在设计的温度、盐度、pH 值下驯养 1 d,并于实验前停食 8 h。实验用的海水取自广东海洋大学东海岛基地沙滤水。

1.2 不同温度条件下氮、磷释放率的测定 于 2.5 L 小桶中进行实验,每个小桶中 2 L 海水并各放 100 尾仔虾,实验温度设 4 个梯度:15、20、25、30℃,同时设置空白对照,重复 3 次。实验在白天持续进行 6 h,实验过程中使用冰浴和恒温电热棒控制温度,盐度为 30, pH 8.0。实验结束后测定水中的无机磷、亚硝酸氮、硝酸氮、氨氮的含量。

收稿日期:2011-12-12

基金项目:科技部星火计划重点项目(2010GA80008);海南省重点科技计划项目(090706);海南省星火产业带专项资金项目(HNXH200903)

作者简介:张特(1986-),男,陕西咸阳人,广东海洋大学水产学院 2009 级水产养殖专业硕士研究生。

通信作者:孙成波(1972-),男,广东海洋大学水产学院教授,博士, E-mail: sunchb@gdou.edu.cn

1.3 不同盐度条件下氮、磷释放率的测定 在盐度为 5~35 范围内设 7 个梯度: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 重复 3 次。水温为 30 ℃, pH8.0, 实验持续进行 6 h。

1.4 不同 pH 值条件下氮、磷释放率的测定 在 pH 值为 6.5~9.0 的范围内设 6 个梯度: 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 重复 3 次。水温为 30 ℃, 盐度为 30, 实验持续进行 6 h。

1.5 不同摄食状态下氮、磷释放率的测定 仔虾饥饿 8 h 后正常投喂虾片, 停止摄食后立即进入实验, 重复 3 次, 实验水温为 30 ℃, 盐度为 30, pH8.0, 实验持续进行 6 h。

1.6 理化因子的测定 实验期间共测定 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 4 项理化指标。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 用磷钼蓝法; $\text{NH}_3\text{-N}$ 用纳氏试剂法; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 用锌镉还原法; $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 用重氮-偶氮比色法。试剂配置及测定步骤均按《化学实验》^[7] 进行。

1.7 数理统计方法 采用单因素方差分析(ANOVA)和样本均值多重分析方法进行统计分析, 并在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上对结果进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对氮、磷释放率的影响 从表 1 可以看出, 随着温度的升高, 凡纳滨对虾仔虾的磷、硝酸氮、氨氮释放率均有提高。亚硝酸氮释放率在 25 ℃ 时最高。30 ℃ 时, 仔虾的磷、亚硝酸氮和氨氮的释放率分别与 15 ℃, 20 ℃ 相比有显著差异 ($P < 0.05$)。30 ℃ 时, 仔虾氮、磷释放率最大。在水温为 15~30 ℃ 范围内, 温度对仔虾硝酸氮释放率影响显著 ($P < 0.05$)。

表 1 不同温度条件下凡纳滨对虾仔虾 N、P 释放率变化情况 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \bar{x} \pm s$

温度/℃	磷释放率	亚硝酸氮释放率	硝酸氮释放率	氨氮释放率
15	0.007 ± 0.004	0.000 ± 0.001	0.016 ± 0.006	0.039 ± 0.006
20	0.010 ± 0.004	0.000 ± 0.001	0.027 ± 0.005	0.048 ± 0.011
25	0.019 ± 0.007	0.004 ± 0.000	0.045 ± 0.000	0.075 ± 0.008
30	0.034 ± 0.013	0.005 ± 0.004	0.056 ± 0.004	0.116 ± 0.036

2.2 盐度对氮、磷释放率的影响 从表 2 可以看出, 在盐度 15~25 的范围内, 随着盐度的增加, 仔虾氮、磷的释放率有所提高。但在盐度为 30 时, 仔虾氮、磷释放率最低。经方差分析, 盐度对磷释放率的影响显著 ($P < 0.05$), 对氨氮释放率影响极显著 ($P < 0.01$)。对硝酸氮、亚硝酸氮影响不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 不同盐度条件下凡纳滨对虾仔虾 N、P 释放率变化情况 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \bar{x} \pm s$

盐度	磷释放率	亚硝酸氮释放率	硝酸氮释放率	氨氮释放率
5	0.206 ± 0.005	0.005 ± 0.001	0.550 ± 0.013	1.966 ± 0.137
10	0.200 ± 0.003	0.007 ± 0.003	0.601 ± 0.010	2.043 ± 0.123
15	0.222 ± 0.004	0.007 ± 0.000	0.626 ± 0.008	2.282 ± 0.144
20	0.459 ± 0.026	0.011 ± 0.003	0.651 ± 0.041	2.512 ± 0.133
25	0.390 ± 0.012	0.010 ± 0.001	0.709 ± 0.064	1.426 ± 0.044
30	0.086 ± 0.014	0.013 ± 0.002	0.640 ± 0.022	0.594 ± 0.045
35	0.392 ± 0.072	0.011 ± 0.001	0.649 ± 0.060	1.571 ± 0.302

2.3 pH 值对氮、磷释放率的影响 从表 3 可以看出, 随着 pH 值的增加, 仔虾磷的释放率有所降低, 硝酸氮释放率有所增加, 氨氮释放率在 pH8.5 时达到最大, pH9.0 时呈下降趋势。亚硝酸氮释放率变化不明显。经方差分析, pH 值对磷释放率影响显著 ($P < 0.05$), 对硝酸氮、氨氮影响极显著 ($P < 0.01$), 对亚硝酸氮释放率影响不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 摄食状态对氮、磷释放率的影响 摄食状态对仔虾代谢有明显的影响(见表 4)。从表 4 可以看出, 摄食组的氮、磷释放率显著大于饥饿组 ($P < 0.05$)。饱食状态下磷、亚硝酸氮、硝酸氮和氨氮的释放率比饥饿状态下分别提高了 76.2%、50.0%、60.0% 和 94.7%。

表 3 不同 pH 值条件下凡纳滨对虾仔虾 N、P 释放率变化情况 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \bar{x} \pm s$

pH 值	磷释放率	亚硝酸氮释放率	硝酸氮释放率	氨氮释放率
6.5	0.133 ± 0.033	0.010 ± 0.001	0.486 ± 0.000	1.171 ± 0.246
7.0	0.122 ± 0.012	0.009 ± 0.001	0.499 ± 0.029	1.246 ± 0.620
7.5	0.119 ± 0.013	0.009 ± 0.000	0.503 ± 0.003	1.331 ± 0.012
8.0	0.053 ± 0.001	0.009 ± 0.003	0.651 ± 0.004	1.714 ± 0.008
8.5	0.107 ± 0.019	0.009 ± 0.001	0.481 ± 0.003	2.585 ± 0.421
9.0	0.125 ± 0.060	0.008 ± 0.001	0.488 ± 0.008	1.082 ± 0.221

表 4 不同摄食状态条件下凡纳滨对虾仔虾 N、P 释放率变化 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \bar{x} \pm s$

摄食状态	磷释放率	亚硝酸氮释放率	硝酸氮释放率	氨氮释放率
空胃	0.019 ± 0.002	0.002 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.035 ± 0.003
饱胃	0.037 ± 0.009	0.005 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.119 ± 0.045
氮、磷释放 增加率/%	76.2	50.0	60.0	94.7

3 讨 论

1) 凡纳滨对虾属变温动物,环境温度变化直接影响对虾体内的生理生化过程。水温过低,对虾摄食量减少,生长缓慢。由于凡纳滨对虾系热带性虾类,所以对高温的变化适应能力明显大于低温,能在水温为 6~40℃的水域中存活,生长水温为 15~38℃,最适生长水温为 22~35℃,忍受极限温度可达 43.5℃(渐变幅度),水温低于 18℃,其摄食活动即受影响,9℃以下时侧卧^[8]。

本实验的温度设定为 15~30℃,其中 20~30℃是在对虾最适生长温度。在供试温度范围内,温度与仔虾氮、磷释放率呈正相关,说明在适温范围内,随温度升高,仔虾代谢强度增大,对能量的消耗也增大,这与其他学者^[9-12]关于对虾成虾的研究结果相似。

2) 养殖海水盐度对海洋生物特别是渗透调变类动物的生理状况有直接的影响。凡纳滨对虾与绝大多数海洋无脊椎动物一样,属于渗透调变类(Osmoregulator)动物^[13]。当外界盐度发生变化时,对虾通过改变代谢状况,借助于离子调节和细胞内游离氨基酸库的启动或关闭,调节体内的渗透浓度,实现有机体与海水之间的水交换以及细胞和组织之间的水分平衡,以适应不同的盐度环境^[14-15]。PARADO^[16]认为对虾类的等渗点在盐度 24~29 之间。对虾在不同盐度下的耗氧率和排氨率也与其对该盐度的适应情况有关^[9,17-18]。施正峰等^[19]的研究也证明淡水生活的日本沼虾(*Macrobrachium niponense*)在盐度为 3 时其代谢和排泄耗能最少,因而有利于提高摄食能量的利用率。

凡纳滨对虾可在盐度为 0.5~35 的海水中生存。据报道,2~7 cm 的幼虾,对盐度的适应范围为 2~78,经盐度驯化,也可以淡水池塘中养殖。凡纳滨对虾仔虾具有广盐性,适宜盐度范围为 15~35,最适盐度范围为 24~26^[3]。本实验在盐度为 15~25 的范围进行时,总体趋势是随着盐度的升高,仔虾氮、磷释放率增加,这说明凡纳滨对虾仔虾随着盐度的上升,能量消耗增加,摄入能量的利用率有所降低。但在盐度为 30 时,仔虾氮、磷释放率最低,说明在此盐度下,仔虾用于摄入能量的利用率最高,这也是其原始育苗的盐度,即最适盐度。CHEN^[20]等证实(0.76±0.05) g 的中国对虾在盐度为 15~30 的范围内,其尿素排泄量随盐度的升高而增大。本实验中的凡纳滨对虾仔虾在盐度为 5~35 范围内,氨氮释放率随盐度的升高而增加,仔虾用于摄入能量的利用率减小,表明蛋白质的代谢强度随盐度的升高而增大。目前对虾养殖中采用较低盐度,逐级淡化防治虾病的方法在生产上有一定的作用,但低于其适应的盐度范围,对虾就要消耗较多的能量来调节体内的渗透压以适应环境盐度。从能量学的理论分析来看,在较低盐度下能够造成代谢能量增加,实际的能量利用率降低,因此生产中的饵料投入可能增大。

3) 亚硝酸氮是硝酸氮和氨氮的不稳定的中间产物,有毒,能使对虾血液的携氧能力逐渐丧失而导致慢性中毒,低浓度的亚硝酸氮就会使对虾抵抗力降低,易患各种疾病。另外,水中含有亚硝酸氮时会使氨氮的致死浓度降低,毒性作用增强;氨氮也是有毒的,不仅在高浓度时对虾体有致死作用,即使在安全浓度范围内对虾体的生理功能也有显著影响,如增加对虾的耗氧、阻碍其氨的排泄、破坏生物体的渗透调节能力等,从而导致虾体代谢失调、体质下降;而一般认为硝酸氮对水生生物是无毒的,只有在高浓度下才有毒性。

从实验结果可知,pH 值在 6.5~9.0 范围内,随着 pH 值的增加,凡纳滨对虾仔虾磷的释放率明显下降,pH 值为 8.5 时,氨氮的释放率达到最大值,硝酸氮的释放率有所增加,而亚硝酸氮释放率没有明显变化。故可以认为对虾仔虾适宜生存环境的 pH 值上限为 8.5。这与对虾养成管理中 pH 值的监测标准(7.6~8.3,最低不小于 7.3,最高不大于 8.6)和李婷关于凡纳滨对虾能量代谢的研究结果(对虾最适 pH 值为 8.5)相似,也符合凡纳滨对虾人工育苗的渔业水质标准要求(pH 值 7.8~8.4)。

4) 动物摄食后在一段时间内会产生体热增加现象,增加量多少与摄入蛋白质的量密切相关,增加的热量称为表观热增量(Apparent heat increment, AHI),又称为特殊动力作用(Specific dynamic action, SDA)^[5-6]。NELSON 等^[21]曾对罗氏沼虾(*M. rosenbergii*)稚虾的特殊动力作用进行过报道,认为摄食颤蚓后代谢率比标准代谢率增加 39.4%,摄食 2 种配合饲料的代谢率比标准代谢率分别提高了 19.7% 和 7.1%。凡纳滨对虾仔虾摄食饵料后磷释放率、亚硝酸氮释放率、硝酸氮释放率和氨氮释放率比饥饿状态时分别提高 76.2%、50.0%、60.0% 和 94.7%,可以明显看出氨氮释放率的增加大于其他三者的变化,说明凡纳滨对虾仔虾的特殊动力作用主要是由蛋白质代谢造成的。

参考文献:

- [1]孙成波,陈国良,童汉荣,等.美国 4 个凡纳滨对虾(*L. vannamei*)种群形态差异与判别分析[J].海洋与湖沼,2009,40(1):27-32.
- [2]吴凯,时翔,徐晓群,等.急性盐度变化对凡纳滨对虾仔虾呼吸和排泄代谢的影响[J].厦门大学学报:自然科学版,2007,46(增刊1):149-153.
- [3]水柏年.凡纳滨对虾仔虾对若干环境因子适应性研究[J].水产养殖,2005,26(1):8-13.
- [4]郝斌,孙海宝,陈芳顺,等.对虾(*Penaeus orientalis*)呼吸生理的研究和对虾耗氧率的研究[J].海洋湖沼通报,1985(3):51-61.
- [5]张硕,王芳,董双林.温度对中国对虾能量分配和元素组成的影响[J].中国水产科学,1998,5(1):39-42.
- [6]张硕,董双林,王芳.摄食对中国对虾能量代谢影响的初步研究[J].海洋科学,1998(2):49-50.
- [7]雷衍之,杨凤.化学实验[M].北京:中国农业出版社,2004:152-194.
- [8]谢文星,谢山,黄道明,等.温度对青虾幼体变态发育及培育率的影响[J].淡水渔业,1999,29(7):8-9.
- [9]CHEN Jian-chu, LAI Sen-huan. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion for juvenile *Penaeus japonicus* Bate[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1993, 165: 161-170.
- [10]董双林,堵南山,赖伟.日本沼虾生理生态学研究—温度和体重对其代谢的影响[J].海洋与湖沼,1994,25(3):233-237.
- [11]VILLARREAL H. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* post-larvae[J]. Comp Biochem Physiol, 1994, 106(213): 331-336.
- [12]李婷,梁堪富,李义军,等.不同条件下凡纳滨对虾能量代谢研究[J].海洋与湖泊,2011(1):41-44.
- [13]CAWTHORNE D F, BEARD T, DAVENPORT J, et al. Response of juvenile *Penaeus monodon* Fabricius to natural and artificial sea waters of low salinity[J]. Aquaculture, 1983, 32: 165-174.
- [14]LINDA H M, LINDA L F. The Biology of Crustacean [M]. London, New York: Academic Press, 1983: 53-161.
- [15]维诺格拉多夫 M E. 海洋生物结构:第 1 卷 [M]. 李世珍,杨德渐,译.北京:海洋出版社,1985:23-34.
- [16]PARADO E P. Response intermolt *Penaeus indicus* to large fluctuations in environmental salinity[J]. Aquaculture, 1987, 64: 175-184.
- [17]DALLA V. Salinity response in brick is water populations of the freshwater shrimp *Palaemonetes antennarius* [J]. I Oxygen

consumption. Comp Biochem Physiol ,1987(2) : 471 – 478.

[18]董双林, 堵南山, 赖伟. 日本沼虾生理生态学研究—pH, Ca^{2+} 和 NaCl 对耗氧率和氨排泄的影响[G]//中国动物学会成立 60 周年论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 176 – 182.

[19]施正峰, 梅志平, 罗其智. 日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究[J]. 中国水产科学, 1994, 18(3) : 191 – 197.

[20]CHEN Jian-chu, FAN Hua-nan. Oxygen consumption and ammonia excretion of *Penaeus chinensis* juveniles at different salinity levels (Decapod, Penaeidae) [J]. J Crusta Biol, 1995, 15(3) : 434 – 443.

[21]NELSON S G, KNIGHT A W, LI H W. The metabolic cost of food utilization and ammonia production by juvenile *Macrobrachium rosenbergi* (Crucea: Palaemonidae) [J]. Comp Biochem Physiol, 1977, 57A: 67 – 72.

Effect of multi-factors on energy metabolism of juvenile *Litopenaeus vannamei*

ZHANG Te¹, SUN Cheng-bo^{1, 2}, GUANG Ren-lei¹

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China; 2 Tropical Invertebrates

Aquaculture Research Center of Guangdong Colleges and Universities, Zhanjiang, 524025, China)

Abstract: Juvenile *Litopenaeus vannamei* were treated under different temperatures, salinities, pH levels and feeding to determine their release rates of inorganic phosphorus, nitrite, nitric nitrogen and ammonia nitrogen. The results indicate that temperature, salinity, pH value and feeding influence the metabolism of the juvenile *L. vannamei*. At the temperature ranging from 15 °C to 30 °C the juvenile *L. vannamei* increased their release rates of phosphorus, nitrite, nitric nitrogen and ammonia nitrogen with the temperature, and had the highest release rates of nitrogen and phosphorus at 30 °C. Within the salinity range of 5–35 the juvenile *L. vannamei* improved their release rate of nitrogen and phosphorus with the salinity but lowered their release rates of nitrogen and phosphorus to minimum at the salinity of 30, and the salinity of 30 gave a significant effect ($P < 0.01$) on the release rate of ammonia nitrogen. At the pH range of 6.5–9.0 the juvenile *L. vannamei* decreased their release rate of phosphorus significantly ($P < 0.05$) and raised their release rates of nitric nitrogen and ammonia nitrogen significantly ($P < 0.01$) with pH value. The release rate of ammonia nitrogen came to a maximum high at a pH value of around 8.5, while the release rate of nitrite changed little. Feeding had significant impact on the metabolism of the juvenile *L. vannamei*. The fed juvenile *L. vannamei* enhanced their release rate of phosphorus, nitrite, nitric nitrogen and ammonia nitrogen by 94.7%, 50.0%, 60.0% and 94.7%, separately, as against those without feeding, which shows an evident increase in protein metabolism in the fed juveniles.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; energy metabolism; temperature; salinity; pH; feeding; release rates of N and P