

水体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^{+} 对南美白对虾幼虾生长的影响

何琳剑¹, 武祥伟^{1,2}, 陈路斯^{1,2}, 王正阳^{1,2}, 黄松茂^{1,2}, 毕保良^{1,2}, 孔令富^{1,2*}

(1. 云南农业大学动物科学技术学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省高原渔业资源保护与可持续利用重点实验室, 云南昆明 650201)

摘要 试验共设 7 组, 第 1 组用井水+食盐, 第 2~6 组 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度分别为 92~138、26~300、13~138 mg/L, 同时每组再设 2 个平行试验组, 对照组(第 7 组)为当地河口水, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度分别为 200.4、502.0 和 152.0 mg/L。结果表明: 水体中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度对南美白对虾幼虾生长效果与饲养效果有显著影响($P<0.05$)。南美白对虾成活率主要受 K^{+} 浓度的影响, 试验结果存在显著差异($P<0.05$)。

关键词 南美白对虾幼虾; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^{+} ; 成活率; 生长效果; 饲料效果

中图分类号 S968 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)15-0102-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.15.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} in Water on the Growth of *Penaeus vannamei* Larvae

HE Lin-jian¹, WU Xiang-wei^{1,2}, CHEN Lu-si^{1,2} et al (1. Institute of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201; 2. Key Laboratory of Plateau Fishery Resources Protection and Sustainable Utilization in Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract Seven groups were used, well water + salt was used in the first group, the concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} used in the second-sixth groups were 92-138, 26-300 and 13-138 mg/L respectively, and two parallels were set in each group. The control group (the seventh group) was the local river mouth, and the concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} were 200.4, 502.0 and 152.0 mg/L. The results showed that the concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} respectively in the water had significant influences on the growth effect and feeding effect of *Penaeus vannamei* larvae ($P<0.05$). The survival rate of *P. vannamei* was mainly affected by K^{+} concentration, and the experimental results showed significant differences ($P<0.05$).

Key words *Penaeus vannamei*; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^{+} ; Survival rate; Growth effect; Feed effect

南美白对虾(*Penaeus vannamei*), 又称白肢虾(white-leg shrimp)、白对虾(white shrimp)等, 原产于南美洲太平洋的赤道南北沿海, 属于热带对虾。南美白对虾作为虾类主要养殖品种之一, 该虾对环境适应性较强, 生长快, 对饲料蛋白质需求低, 离水存活时间长, 品质好, 易于进行集约化养殖, 可在我国广大地区开展养殖。南美白对虾为广盐性种类, 在盐度 3‰~5‰的水体中已饲养成功^[1-2], 在淡化养殖试验中保持低盐度及在纯淡水范围的养殖中也取得了成功^[3-5]。目前, 为了最大化利用养殖水体, 逐渐发展出一种新的南美白对虾盐碱地养殖模式^[6]。

自 1993 年以来, 在我国与东南亚一带暴发了对虾流行性疾病。人们为摆脱海水带来的病害, 根据南美白对虾耐低盐的习性, 开展了淡化养殖, 同时内陆地区也开始在淡水体中添加化学元素养殖南美白对虾。但迄今为止尚不明确养殖水体中一些必要的或应添加的化学元素种类及含量, 因此淡化养殖中经常出现成活率低、生长不快, 有时甚至无法成活等问题。研究表明, 南美白对虾在低盐度水环境中能正常生存, 其机体可以正常进行渗透调节^[7]。目前, 有关 K^{+} 对南美白对虾生长的影响研究迄今少有报道。笔者筛选 3 种离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+}) 进行南美白对虾幼虾养殖试验, 旨在为南美白对虾淡化养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验用虾与淡化 试验用虾为南美白对虾幼虾。试验

用水采取逐步淡化的方法淡化至比重 1.003, 并稳定 7 d 后用于试验。

1.2 试验容器与试验水 试验容器为塑料箱(55 cm×45 cm×34 cm); 试验用水为经过沉淀、消毒、过滤澄清的河口水与井水添加食盐比调至 1.003。试验共设 7 组, 第 1 组用井水+食盐将比重调至 1.003, 第 2~6 组为井水添加食盐将比重调至 1.003, 其调配后主要离子的浓度见表 2。按表 1 将 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} 浓度(含背景值)予以调配。第 2~6 组 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度分别为 92~138、26~300 和 13~138 mg/L, 同时每组再设 2 个平行试验组, 对照组(第 7 组)为当地河口水, 比重 1.011, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^{+} 浓度分别为 200.4、502.0 和 152.0 mg/L(表 2)。

1.3 试验管理 各组放入淡化幼虾 24 尾, 24 h 连续曝气, 试验房门窗紧闭, 试验期间温度为(20±1)℃。每天定时投饵, 以饱饲状态为准, 采用虹吸法排污, 观察对虾摄食、活动、脱壳与死亡情况, 并做好记录。试验开始与结束时量取幼虾的体长和体重。

$$\text{生长效果(FE)} = \text{体长增长率} \times \text{体重增长率} \quad (1)$$

$$\text{饲养效果(GE)} = \text{生长效果(FE)} \times \text{成活率}^{[8]} \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 试验基础水主要离子浓度 由表 1 可知, 河口水各阴离子浓度从高到低依次为 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{-} (CO_3^{2-}), 阳离子浓度从高到低依次为 Na^{+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} , 根据阿列金分类法, 漕泾地区沿岸河口水属于海水类型。井水的阴离子和阳离子浓度最高的分别为 HCO_3^{-} (CO_3^{2-}) 和 Ca^{2+} , 且 HCO_3^{-} (CO_3^{2-}) 浓度高于 Ca^{2+} + Mg^{2+} 浓度。各试验组 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度及 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 、饲养周期如表 2 所示。

基金项目 国家农业综合开发省级集中科技示范推广项目(YNS201712)。
作者简介 何琳剑(1994—), 男, 云南大理人, 硕士研究生, 研究方向: 生态渔业资源与水产生动物生产。* 通信作者, 副教授, 硕士, 从事水产种质资源保护与利用研究。
收稿日期 2019-12-15

表 1 试验用水主要离子浓度 ($d=1.003$)

Table 1 Main ions' concentration in experimental basic water							mg/L
类型 Type	K^{+}	Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	$\text{HCO}_3^{-}(\text{CO}_3^{2-})$
河口水 River mouth	152.00	3 440.00	200.40	520.00	7 430.70	1 095.08	34 021.00
井水 Well water	5.42	75.50	89.18	15.81	97.03	29.78	222.65
井水+食盐 Well water + salt	13.00	1 376.00	92.00	26.00	1 400.53	30.78	224.65

表 2 各试验组 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度及饲养周期
Table 2 Concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and feeding period in each experimental group

组别 Group	Ca^{2+} mg/L	Mg^{2+} mg/L	K^{+} mg/L	$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$	饲养周期 Feeding period d
1	92.0	26	13	0.28	7
2	92.0	138	53	1.50	35
3	138.0	300	13	2.20	35
4	138.0	26	138	0.19	35
5	138.0	300	53	2.20	35
6	138.0	300	138	2.20	35
7	200.4	502	152	2.50	35

2.2 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度对南美白对虾生长的影响

2.2.1 井水+食盐对南美白对虾幼虾生长的影响。由表 1 可知,试验 1 组井水+食盐中阴离子、阳离子浓度较高的分别为 Cl^{-} 和 Na^{+} ,且 $\text{HCO}_3^{-}(\text{CO}_3^{2-})$ 浓度高于 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 浓度。井水+食盐的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^{+} 浓度低,比例失调。试验组养殖对虾幼虾 7 d 内全部死亡。

2.2.2 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度对南美白对虾幼虾生长的影响。由表

2、3 可知,当 Ca^{2+} 、 K^{+} 浓度均为 138.0 mg/L 时,第 6 组南美白对虾幼虾成活率、体长增长率、体重增长率、生长效果、饲养效果均显著高于第 4 组 ($P<0.05$)。第 6 组 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度最高, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 为 2.20;对照组 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 为 2.5,对虾成活率、体重增长率、饲养效果无显著差异。由表 3 可知,添加不同浓度的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对南美白对虾幼虾的生长有显著影响。当 Ca^{2+} 浓度为 138.0 mg/L、 Mg^{2+} 浓度为 300 mg/L、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 为 2.20 时,饲养效果达到最佳。

2.2.3 K^{+} 浓度对南美白对虾幼虾生长的影响。由表 2、3 可知,当 K^{+} 浓度为 13~138 mg/L 时,随着 K^{+} 浓度的升高,南美白对虾的成活率呈上升趋势,其中第 3 组显著低于第 5、6 组;饲养效果、生长效果、体重增长率呈先下降后上升的趋势,其中第 3、5 组显著低于第 6 组;体长增长率呈下降趋势,其中第 3 组显著高于第 5、6 组。

第 2、3、4 组仅添加了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 离子中的其中 2 种,幼虾成活率均较低,其中第 4 组幼虾成活率显著低于第 2、3 组。由此可见, K^{+} 浓度直接影响南美白对虾幼虾的成活率。当 K^{+} 浓度为 138 mg/L 时,南美白对虾的成活率最接近对照组。

表 3 各试验组 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度对南美白对虾幼虾生长的影响
Table 3 Effects of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} concentrations the growth of *P. vannamei* larvae in each experimental group %

组别	成活率 Survival rate	体长增长率 Growth rate of body length	体重增长率 Growth rate of body weight	生长效果 Growth effect	饲养效果 Feeding effect
1	—	—	—	—	—
2	0.86±0.02 b	1.36±0.01 bc	2.92±0.04 c	3.96±0.10 c	3.39±0.02 bc
3	0.75±0.01 c	1.45±0.02 a	3.31±0.02 a	4.78±0.08 a	2.87±0.42 dc
4	0.65±0.02 d	1.07±0.02 d	1.36±0.02 e	1.45±0.03 e	0.94±0.05 e
5	0.85±0.03 b	1.36±0.02 bc	2.36±0.02 d	3.20±0.06 d	2.73±0.12 d
6	0.91±0.02 ab	1.32±0.02 c	3.14±0.03 b	4.15±0.06 c	3.78±0.10 ab
7(CK)	0.95±0.02 a	1.41±0.03 ab	3.16±0.03 b	4.45±0.10 b	4.21±0.18 a

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 水体中的离子对南美白对虾幼虾生长的影响 南美白对虾在水环境中的生存和生长与水体中的离子组成有关,水体中同离子间的相互作用造就了南美白对虾在生存和生长过程中特有的水环境。在国外的有些相关研究表明,南美白对虾在生存和生长过程中主要相关的环境因子有盐度、 K^{+} 浓度以及纳钾比^[9-11]。出现陆续死亡的试验结果可能与试验水中的离子组成以及离子间的平衡关系有关。该研究在只添加食盐的试验组中,7 d 内南美白对虾幼虾就全部死亡。

3.2 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度对南美白对虾幼虾生长的影响 在

对南美白对虾幼虾进行淡化养殖过程中,水体中离子组成和相关离子的浓度都对其生存和生长有直接的影响,对虾的生长能力与水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度和 $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ 显著相关,与 K^{+} 浓度的相关性很小。杨富亿等^[12] 研究表明 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度对对虾的生长效果和饲养效果有明显影响。通过提高水环境中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度及 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$,可以明显促进南美白对虾幼虾的生存及生长。臧维玲等^[13] 对罗氏沼虾的育苗研究发现 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 对出苗率有影响;王慧等^[14] 研究了水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾生存及生长的影响,结果发现 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 不仅直接影响到中国对虾的生存,而

且对其生长的影响也很大。董双林等^[15]研究 Ca^{2+} 浓度对日本沼虾生长的影响时发现,当虾不能从饵料及身体获得足够的钙时,水环境中的钙就显得较为重要。

Digby^[16]也曾指出,甲壳动物的甲壳与水中的 Ca^{2+} 浓度有关。甲壳类在脱壳前期血液中主要离子浓度升高,尤以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 质量分数升高最显著,血液中高水平的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 有利于抑制神经和肌肉的兴奋性,避免新壳扭曲的危险。 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 在动物体内是神经递质乙酰胆碱的主要载体,在胞间的神经传导过程中, Ca^{2+} 对神经传导起到触发神经递质乙酰胆碱的释放,而 Mg^{2+} 则是抑制神经递质的释放,二者之间是拮抗关系。同时, Mg^{2+} 还参与动物体内物质主动运输,当动物体内缺乏 Mg^{2+} 时 Na 泵就会失去活性,当机体内缺 Mg^{2+} 时会影响机体新陈代谢过程中酶的活性^[17]。外环境离子浓度的变化会显著影响幼虾的成活以及生长,与该研究结果相符。

有关 K^{+} 对南美白对虾生长的影响研究,迄今少有报道。王淑生等^[18]研究 K^{+} 浓度对中国对虾仔虾成活率的影响,发现中国对虾幼虾在一定的盐度下, K^{+} 浓度必须达到一定的浓度值对虾才能成活。在 13.4‰ 盐度下地下盐水 K^{+} 浓度低于 24 mg/L 时,虾苗基本不能成活,只要将 K^{+} 浓度增至 32 mg/L 以上方可进行养殖。 K^{+} 主要影响对虾的成活率,与该研究结果相一致。水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的浓度与对虾的存活也有一定关系, Ca^{2+} 浓度在对虾生存的水环境中一般表现为一个限制因子^[19]。

4 结论

该试验探讨了淡化水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 浓度对南美白对虾幼虾存活及生长的影响,淡化水环境中其他离子之间的相互作用以及平衡关系是否影响南美白对虾幼虾的生存和生长则有待进一步研究。

参考文献

- [1] 陈明勇. 南美白对虾淡化养殖技术[J]. 水利渔业, 2001, 21(6): 15-16.
- [2] 徐建志, 史艳红. 南美白对虾低盐度养殖技术[J]. 河北渔业, 2004(2): 35.
- [3] 郑善坚, 童小荣. 南美白对虾淡化养殖水质研究[J]. 淡水渔业, 2003, 33(4): 25-27.
- [4] 李永富, 丁理法, 陈海伟, 等. 南美白对虾淡水养殖试验报告[J]. 水生生态学杂志, 2002, 22(3): 25-26.
- [5] 覃波忠, 苏栋. 南美白对虾淡水养殖试验[J]. 广西水产科技, 2001(1): 28-30.
- [6] 李鲁晶, 王春生, 朱丰锡, 等. 南美白对虾盐碱地渗水大面积健康养殖技术[J]. 海洋渔业, 2002, 24(2): 75-78.
- [7] RODRÍGUEZ G A. Osmoregulation and total serum protein of two species of penaeidae shrimps from the pacific coast of Mexico[J]. Journal of crustacean biology, 1981, 1(3): 392-400.
- [8] 臧维玲, 戴习林, 姚庆祯, 等. 底质对日本对虾幼虾生长的影响[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(1): 72-75.
- [9] SAMOCHA T M, LAWRENCE A L, POOSER D. Growth and survival of juvenile *Penaeus vannamei* in low salinity water in a semi-closed recirculating system[J]. The Israeli journal of aquaculture-bamidgeh, 1998, 50(2): 55-59.
- [10] LARAMORE S, LARAMORE C R, SCARPA J. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of the world aquaculture society, 2010, 32(4): 385-392.
- [11] FIELDER D S, BARDSLEY W J, ALLAN G L. Survival and growth of Australian snapper, *Pagrus auratus*, in saline groundwater from inland New South Wales, Australia[J]. Aquaculture, 2001, 201(1/2): 73-90.
- [12] 杨富亿, 李秀军, 田明增, 等. 东北西部碱水水域对虾生存和生长与 K^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ 及 M/D 的关系[J]. 海洋通报, 2009, 28(1): 21-28.
- [13] 臧维玲, 王为东, 戴习林, 等. 河口区斑节对虾淡化养殖塘水化学状况与水质管理模式[J]. 中国水产科学, 2001, 8(4): 73-78.
- [14] 王慧, 房文红, 来琦芳. 水环境中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 对中国对虾生存及生长的影响[J]. 中国水产科学, 2000, 7(1): 82-86.
- [15] 董双林, 堵南山, 赖伟. pH 和 Ca^{2+} 浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 118-123.
- [16] DIGBY P S B. Calcification in crustacean: The fundamental process[J]. Physiologist, 1980, 23: 105.
- [17] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2011.
- [18] 王淑生, 王荣星, 陈胜利. K^{+} 浓度对中国对虾仔虾成活率的影响[J]. 中国水产, 2001(4): 53-55.
- [19] 曾现英, 徐高峰, 张新峰. 北方盐碱洼地养殖南美白对虾试验[J]. 淡水渔业, 2004, 34(5): 34-35.
- [10] 王国霞, 黄燕华, 周晔, 等. 乳酸菌对凡纳滨对虾幼虾生长性能、消化酶活性及非特异性免疫的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 228-234.
- [11] 高鹏飞, 张善亭, 赵树平, 等. 乳酸菌在水产养殖业中的应用[J]. 家畜生态学报, 2014, 35(7): 82-86.
- [12] 陈晓瑛, 曹俊明, 王国霞, 等. 芽孢杆菌和低聚木糖对凡纳滨对虾生长和消化酶活性的影响[J]. 饲料工业, 2011, 32(20): 18-22.
- [13] 丁贤, 李卓佳, 陈永青, 等. 芽孢杆菌对凡纳滨对虾生长和消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 580-584.
- [14] 柴俊, 邵翠仙, 张以芳. 乳酸杆菌主要代谢产物种类及其特性[J]. 食品工业科技, 2007, 28(8): 257-260, 264.
- [15] 任大勇, 李昌, 秦艳青, 等. 乳酸菌益生功能及作用机制研究进展[J]. 中国兽药杂志, 2011, 45(2): 47-50.
- [16] LEE D J, DRONGOWSKI R A, CORAN A G, et al. Evaluation of probiotic treatment in a neonatal animal model[J]. Pediatric surgery international, 2000, 16(4): 237-242.
- [17] DUAN Y F, LIU P, LI J T, et al. Molecular responses of calreticulin gene to *Vibrio anguillarum* and WSSV challenge in the ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda* [J]. Fish & shellfish immunology, 2014, 36(1): 164-171.
- [18] RENGIPAT S, RUKPRATANPORN S, PIYATIRATITIVORAKUL S, et al. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacillus* S11) [J]. Aquaculture, 2000, 191(4): 271-288.
- [19] 胡毅, 谭北平, 麦康森, 等. 饲料中益生菌对凡纳滨对虾生长、肠道菌群及部分免疫指标的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 244-251.
- [20] ZANELLA I, SAKOMURA N K, SILVERSIDES F G, et al. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans [J]. Poultry science, 1999, 78(4): 561-568.
- [21] 谢航, 邱宏端, 王秀彬, 等. 地衣芽孢杆菌降解水产养殖中残余饵料特性研究[J]. 福建水产, 2008(3): 31-35.
- [22] 杭小英, 周冬仁, 罗毅志, 等. 地衣芽孢杆菌的生长及对养殖水体中残饵的降解特性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(3): 206-208.
- [23] 杨宇嘉, 陈营. 几株水产用芽孢杆菌的功能分析[J]. 天津农业科学, 2016, 22(5): 54-57.
- [24] 施伟达, 章文敏, 周冬仁, 等. 芽孢杆菌研究进展及其在水产养殖中的应用[J]. 现代农业科技, 2012(2): 310-311, 317.
- [25] 徐亚飞, 胡浩, 周计丹, 等. 凝结芽孢杆菌的生物学特性及其在水产养殖中的应用[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2017, 30(1): 52-55, 74.
- [26] FROM C, PUKALL R, SCHUMANN P, et al. Toxin-producing ability among *Bacillus* spp. outside the *Bacillus cereus* group [J]. Applied and environmental microbiology, 2005, 71(3): 1178-1183.
- [27] 宋蓉, 许春草, 梁运祥. 一株干酪乳杆菌对养殖水体亚硝酸盐去除机理的研究[J]. 淡水渔业, 2013, 43(1): 3-8.
- [28] 齐欣, 张峻. 益生菌在对虾养殖中的应用[J]. 中国饲料, 2006(14): 32-34.
- [29] 徐升. 对虾养殖水环境生物修复研究进展[J]. 河北渔业, 2006(12): 1-4, 39.

(上接第 101 页)