

# 凡纳滨对虾对东北碳酸盐型盐碱水域的适应能力

杨富亿<sup>1</sup>, 李秀军<sup>1</sup>, 杨欣乔<sup>2</sup>, 孙丽敏<sup>3</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 吉林省水产技术推广总站, 吉林 长春 130012; 3. 辽宁省营口市水产科学研究所, 辽宁 营口 115000)

**摘要:** 通过急性毒性实验, 研究碳酸盐碱度对淡化凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 幼虾的毒性效应及其在碳酸盐型盐碱水域的生存能力。结果表明, 在 pH 为 7.12~8.14 时, 碳酸盐碱度对幼虾的 24 h 半有效浓度(EC<sub>50</sub>) 为 2.73 mmol/L。在 pH 为 8.11~8.72 时, 碳酸盐碱度对幼虾的 24、48 和 96 h 的半致死浓度(LC<sub>50</sub>) 分别为 12.40、11.24 和 10.49 mmol/L, 安全浓度(C<sub>s</sub>) 为 2.77 mmol/L。幼虾在碳酸盐型盐碱水域存活时间近 9 h。高碱度 K<sup>+</sup> 的质量浓度低、Na<sup>+</sup> 与 K<sup>+</sup> 的质量浓度比较高是碳酸盐型盐碱水域养殖凡纳滨对虾的主要障碍。

**关键词:** 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*); 盐碱水域; 碳酸盐

中图分类号: S964.4; S968.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)01-0041-04

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 是当今世界上公认的、最有养殖前途的优良虾种之一, 1988 年 7 月, 由中国科学院海洋研究所首次从美国引入中国, 并于 1992 年在该所首次完成了实验室条件下的幼体培育, 为目前中国沿海及近海的内陆盐碱地区大规模推广养殖奠定了理论和实践基础<sup>[1, 2]</sup>。

中国沿海及内陆广阔的盐碱地蕴藏着丰富的咸水资源(包括地下咸水和地表咸水)。实践证明, 开发这些咸水资源发展凡纳滨对虾的养殖是完全可行的<sup>[3-7]</sup>。为探讨在东北地区的碳酸盐型盐碱水域养殖凡纳滨对虾的可能性, 2003 年 8 月, 在东北松嫩平原“中国大安碱地生态试验站”, 用天然盐碱泡水配制实验液, 进行了碳酸盐碱度对凡纳滨对虾幼虾的急性毒性实验, 同时观察了幼虾在天然盐碱水域的生存能力, 为开展凡纳滨对虾在这类水域养殖提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验幼虾购自辽宁省营口市市区一处盐度为 4.07 的淡化虾塘, 平均体长 4.07 cm ± 1.74 cm, 平均体质量 3.12 g ± 1.27 g, 用原池水运抵实验地。用地下水加农用 NaCl 和工业 KCl, 调配成盐度为 4.13 的实验用水, 水中 Na<sup>+</sup> 的质量浓度[*c*(Na<sup>+</sup>)]、K<sup>+</sup> 的质量浓度[*c*(K<sup>+</sup>)] 分别为 10 828.2 和 182.6 mg/L, *c*(Na<sup>+</sup>)/*c*(K<sup>+</sup>) 为 59.3, 碳酸盐碱度 1.03 mmol/L, pH 6.80。幼虾运回后, 用此实验用水进行驯化, 待幼虾适应该水环境后再用于实验。实验容器为 8 L 的金属瓷盆。幼虾在天然盐碱水域生存能力试验, 是使用一只规格为 1 m × 2 m × 0.5 m 的尼龙胶丝网箱, 在当地一处 10.5 hm<sup>2</sup> 的碳酸盐型盐碱泡中进行, 水体碳酸盐碱度 38.78 mmol/L, 盐度 3.29, pH 9.41。

### 1.2 实验方法

急性毒性实验是针对东北地区的碳酸盐型盐碱水域碱度较高的特点, 研究碳酸盐碱度对凡纳滨对虾幼虾毒性作用的半有效浓度(EC<sub>50</sub>)、半致死浓度(LC<sub>50</sub>) 和生存的安全浓度(C<sub>s</sub>)。先采用“寇氏”法<sup>[8]</sup> 确定实验碱度浓度组, 然后每组取上述实验用水 5 L, 分别加入上述盐碱泡水, 调配成设计浓度。加入盐碱水的量(*L*) 根据公式  $V = (\text{设计浓度} - 1.03) / (7.756 - 0.2 \times \text{设计浓度})$  计算(推导过程从略)。对照组以不加盐碱水的实验用水为实验液。EC<sub>50</sub> 和 LC<sub>50</sub> 实验分别持续 24 h 和 96 h。在天然盐碱水域生存能力试验, 是将幼虾放入网箱中, 每隔 0.5 h 记录一次死亡和存活数, 以最后一尾幼虾死亡计算总存活时间。

急性毒性实验连续充气, 每隔 12 h 更换 1/2 水量; 实验水温 23.8℃ ± 1.2℃, 溶解氧 6.13 mg/L ± 2.17 mg/L。天然盐碱水域生存能力试验的气温 24.3℃ ± 1.2℃, 水温 24.7℃ ± 1.4℃, 溶解氧 7.09 mg/L ± 2.12 mg/L。

### 1.3 数据处理

对所得数据采用“机率单位回归法”计算 EC<sub>50</sub> 和 LC<sub>50</sub> 值。C<sub>s</sub> 的计算公式为:  $C_s = 0.3 \times 48 \text{ h LC}_{50} / (24 \text{ h LC}_{50} / 48 \text{ h LC}_{50})^{2[9]}$ 。

收稿日期: 2004-05-31; 修回日期: 2006-09-06

基金项目: 吉林省科技发展计划资助项目(20020227-2)

作者简介: 杨富亿(1964-), 男, 吉林九台人, 副研究员, 从事湿地农业研究, 电话: 0431-5542234, E-mail: yangfuyi@neigae.ac.cn

## 2 实验结果

毒性实验观察,当碱度超过一定限度时,幼虾开始出现阳性反应<sup>[8]</sup>。当阳性反应达到一定程度后,附肢完全失去活动能力,对外来刺激(如针刺)毫无

反应而死亡。急性毒性实验结果分别见表 1 和表 2。实验结束后,对照组幼虾成活率均为 100%,且活动正常,无中毒症状。盐碱泡中的幼虾,到最后一尾死亡,历时近 9 h(表 3)。

表 1 碳酸盐碱度对凡纳滨对虾幼虾毒性半有效浓度实验  
Tab. 1 EC<sub>50</sub> of carbonate alkalinity to *L. vannamei* juvenile

组别	实验浓度 (mmol/L)	浓度对数	pH	实验虾数 (尾)	阳性反应数 (尾)	阳性反应 (%)	线性回归方程 ( $Y = a + bX$ )	24 h EC <sub>50</sub> (mmol/L)
1	1.17	0.068 2	7.12	10, 10	0, 0	0		
2	1.50	0.176 1	7.20	10, 10	2, 2	20		
3	1.92	0.283 3	7.27	10, 10	2, 3	25		
4	2.46	0.390 9	7.39	10, 10	4, 4	40	$Y = 0.063 8 + 0.074 4X$	
5	3.15	0.498 3	7.62	10, 10	6, 7	65	$(r = 0.993^{**}, df = 5)$	2.73
6	4.03	0.605 3	7.74	10, 10	7, 8	75		
7	5.19	0.715 2	7.93	10, 10	9, 8	85		
8	6.64	0.822 2	8.14	10, 10	10, 10	100		
对照组	1.03	0.012 8	6.80	10, 10	0, 0	0		

注: \*\* 表示差异极显著,  $r_{0.01(5)} = 0.874$

表 2 碳酸盐碱度对凡纳滨对虾幼虾半致死浓度实验  
Tab. 2 LC<sub>50</sub> of carbonate alkalinity to *L. vannamei* juvenile

组别	实验浓度 (mmol/L)	浓度对数	pH	实验虾数 (尾)	24 h		48 h		96 h		
					死亡数 (尾)	死亡率 (%)	死亡数 (尾)	死亡率 (%)	死亡数 (尾)	死亡率 (%)	
1	7.12	0.852 5	8.11	10, 10	0, 0	0	1, 1	10	2, 2	20	
2	8.17	0.912 2	8.17	10, 10	0, 1	5	2, 2	20	2, 3	25	
3	9.78	0.990 3	8.29	10, 10	2, 3	25	2, 3	25	3, 4	35	
4	11.23	1.050 4	8.37	10, 10	4, 4	40	4, 5	45	4, 5	45	
5	12.89	1.110 3	8.44	10, 10	5, 4	45	6, 6	60	8, 7	75	
6	14.80	1.170 3	8.51	10, 10	7, 7	70	8, 8	80	9, 9	90	
7	16.99	1.230 2	8.60	10, 10	9, 9	90	10, 10	100			
8	19.50	1.290 0	8.72	10, 10	10, 9	95					
对照组	1.03	0.012 8	6.80	10, 10	0, 0	0	0, 0	0	0, 0	0	
线性回归方程				$Y = 0.888 8 + 0.040 9X$		$Y = 0.849 7 + 0.040 2X$		$Y = 0.817 4 + 0.040 7X$			
( $Y = a + bX$ )				$(r = 0.988^{**}, df = 5)$		$(r = 0.979^{**}, df = 5)$		$(r = 0.958^{**}, df = 4)$			
LC <sub>50</sub> (mmol/L)				12.40		11.24		10.49			
C <sub>s</sub> (mmol/L)						2.77					

注: \*\* 表示差异极显著,  $r_{0.01(4)} = 0.917$

## 3 讨论

### 3.1 高碱度限制对虾生存

中国内陆碳酸盐型盐碱水域主要分布在东北地区,一般都具有较高、较稳定的碱度和 pH<sup>[10]</sup>。如位于东北西部的达里湖(水域面积 23 900 hm<sup>2</sup>) 1975~1976 年测得碱度为 44.5 mmol/L, pH 9.43, 1994 年实测浓度为 44.9 mmol/L, pH 9.60<sup>[11]</sup>。在该水域中,碳酸盐碱度对麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、雅罗鱼(*Leiciscu waleckii*)和鲫鱼(*Carassius auratus*)

的 24 h LC<sub>50</sub>值分别为 78.8, 78.8 和 73.9 mmol/L<sup>[12]</sup>。据雷衍之等<sup>[13]</sup>的实验结果,当 pH 8.65 时,碳酸盐碱度对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)鱼种的 24 h LC<sub>50</sub>值为 82.2 mmol/L; 当 pH 分别为 8.30 和 8.74 时,对鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)鱼种的 24 h LC<sub>50</sub>值分别为 109.0 和 95.0 mmol/L; pH 9.14 时,对鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)鱼种的 24 h LC<sub>50</sub>值为 65.7 mmol/L。这 3 种鱼在达里湖的水环境中,只能存活 4~40 h<sup>[12]</sup>。即使适应能力较强的鲤鱼(*Cyprinus carpio*)鱼种在 pH 为 9.5 时的

24 h LC<sub>50</sub> 值高达 50 mmol/L<sup>[13]</sup>, 在达里湖水域也仅能存活 5~7 d<sup>[12]</sup>。在本实验 pH 为 8.11~8.72 的条件下, 碳酸盐碱度对淡化凡纳滨对虾幼虾的 24 h LC<sub>50</sub> 值远低于上述淡水鱼类。这表明, 凡纳滨对虾对碳酸盐碱度的适应能力远不如淡水鱼类。

表 3 凡纳滨对虾幼虾在天然盐碱水域的生存能力

Tab. 3 Live ability of *L. vannamei* juvenile in natural saline alkaline waters

时间 (时:分)	死亡数 (尾)	存活数 (尾)	死亡率 (%)	总死亡率 (%)
6:00	0	146	0	0
6:30	13	133	8.90	8.90
7:00	21	112	14.38	23.29
7:30	17	95	11.64	34.93
8:00	11	84	7.53	42.47
8:30	10	74	6.85	49.32
9:00	10	64	6.85	56.16
9:30	9	55	6.16	62.33
10:00	9	46	6.16	68.49
10:30	3	43	2.05	70.55
11:00	14	29	9.59	80.14
11:30	11	18	7.53	87.67
12:00	7	11	4.79	92.47
12:30	4	7	2.74	95.21
13:00	0	7	0	95.21
13:30	3	4	2.05	97.26
14:00	3	1	2.05	99.32
14:30	0	1	0	99.32
14:47	1	0	0.68	100

淡水鱼类中, 鲢、鳙是耐碱能力最差的种类, 雷衍之等<sup>[13]</sup>曾推荐 10 mmol/L 的碳酸盐碱度可作为其养殖用水的危险指标。可见本实验幼虾的 EC<sub>50</sub> 值和 C<sub>s</sub> 值均远低于此指标。然而, 东北地区 90% 以上的碳酸盐型盐碱水域的碱度都超过 10 mmol/L, 并且碱度与 pH 呈显著正相关<sup>[10]</sup>。因此, 如果再考虑高 pH 的协同作用, 将使碱度的毒性效应进一步增强。从幼虾在本实验天然盐碱泡水域环境仅存活近 9 h 的实际情况看, 对这种高碱度的内陆碳酸盐型盐碱水域, 未经驯化的凡纳滨对虾幼虾是无法适应的。即便能够放养鲢、鳙鱼的水域, 也不一定适应幼虾生存。根据本实验结果, 凡纳滨对虾幼虾生存的安全碱度指标应定为  $\leq 2.5$  mmol/L, 即与淡水鱼类养殖水体的碱度指标 1~3 mmol/L 基本一致。但在东北地区的碳酸盐型盐碱水域, 这种碱度水平是很少见的。

### 3.2 $c(K^+)$ 及 $c(Na^+)/c(K^+)$ 值对对虾生存的影响

东北地区的碳酸盐型盐碱水域盐度一般都不超过 5<sup>[10]</sup>, 淡化对虾品种原本完全可以适应。但由于离子组成与自然海水差距较大, 使对虾难于适应。本实验实测得天然盐碱泡水体中  $c(Na^+)$ ,  $c(K^+)$  分别为 867.8 和 1.2 mg/L,  $c(Na^+)/c(K^+)$  值为 722.2。与天然海水相比<sup>[3]</sup>, 盐碱泡水域  $c(Na^+)$ ,  $c(K^+)$  分别偏低 11.4 倍及 321.5 倍(海水分别为 10 760 和 387 mg/L), 而  $c(Na^+)/c(K^+)$  值偏高 25.0 倍(海水为 27.8)。据肖国强等<sup>[3]</sup>实验结果, 盐度在 30 条件下, 当  $c(K^+)$  为 141.8~171.5 mg/L,  $c(Na^+)/c(K^+)$  值为 38.0~46.0 时, 凡纳滨对虾仔虾存活率为 77.8%~95.6%; 盐度在 15 条件下,  $c(K^+)$  和  $c(Na^+)/c(K^+)$  值分别为 63.6~88.0 mg/L 及 44.1~61.0 时, 仔虾存活率都在 100%。刘金明<sup>[14]</sup>在提高盐碱地渗水养殖中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)成活率的试验中认为, 盐碱地渗水水体中  $c(K^+)$  在 30~108.5 mg/L 范围内, 虾苗成活率随  $c(K^+)$  的增大而升高;  $c(K^+)$  高于 239.2 mg/L 的情况下, 虾苗成活率随  $c(K^+)$  的升高而降低, 并认为  $c(K^+)$  最适宜范围为 108.5~134.6 mg/L。可见, 本实验盐碱泡水域  $c(K^+)$  和  $c(Na^+)/c(K^+)$  值均与上述指标相去甚远。在急性毒性实验的对照组实验液中,  $c(K^+)$  和  $c(Na^+)/c(K^+)$  值均与上述指标接近, 因而在本实验条件下, 幼虾至少可存活 96 h。

据资料显示<sup>[4, 15]</sup>, 中国北方沿海地下咸水中,  $c(K^+)$  基本在 100~1 500 mg/L 波动, 不同地区差别较大。而沿海或近海的内陆盐碱地地下咸水中,  $c(K^+)$  一般都小于 200 mg/L, 有些地方在 50 mg/L 以下, 这种水用来养殖对虾时, 均需补充一定量的  $K^+$ <sup>[3, 16, 17]</sup>。据王淑生等<sup>[16]</sup>利用地下卤水兑淡水养殖东方对虾的试验, 认为  $K^+$  的补充数量标准, 应以水体中  $c(K^+)$  达到自然海水正常值的 1/4 至 1/3, 即 100~130 mg/L 为宜。同沿海地区的盐碱地地下咸水相比, 东北地区碳酸盐型盐碱水域  $c(K^+)$  要低得多, 而  $c(Na^+)/c(K^+)$  值则高得多, 本实验证明幼虾无法适应这种盐碱水域环境, 若采用向水体补充  $K^+$  的办法来发展对虾养殖, 不仅费用要增加, 而且高碱度的障碍也难以逾越, 其成功的可能性不大。因此, 培育与驯化能够同时适应高碱度和离子组成特征的“碱化”虾苗, 是东北地区碳酸盐型盐碱水域养殖对虾的根本途径。由本实验可知, 凡纳滨对虾并不适合在此类湖泊养殖。是否存在其它耐碱虾种, 尚需进一步探讨。

另一方面,东北地区的碳酸盐型盐碱水域均分布在西部的半干旱地区,离子组成复杂多变。本实验参照沿海地区氯化物型盐碱地地下卤水兑淡水和地下渗水养殖对虾的关键技术问题,只对碳酸盐型盐碱水域中  $c(K^+)$  和  $c(Na^+)/c(K^+)$  值特征进行了初步探讨,关于其它离子组成在凡纳滨对虾幼虾适应内陆碳酸盐型盐碱水域环境中所起的作用,尚需实验观察。

## 参考文献:

- [1] 张伟权. 世界重要养殖品种——南美白对虾生物学简介[J]. 海洋科学, 1990, 3: 69-73.
- [2] 张伟权, 于琳江, 童保福, 等. 南美白对虾全人工授精技术研究[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(4): 428-432.
- [3] 肖国强, 潘鲁青, 冉宪宝, 等. 低盐度地下卤水养殖南美白对虾的研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(12): 36-40.
- [4] 刘明星, 夏 娃, 王永良, 等. 用地下卤水养虾的几个技术问题[J]. 海洋科学, 2002, 26(2): 8-11.
- [5] 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.
- [6] 陈东亮, 许振松, 刘金明. 利用地下咸水兑淡水进行南美白对虾工厂化养殖试验[J]. 齐鲁渔业, 2002, 19

(11): 15-16.

- [7] 王 权, 刘国宁. 盐碱地区卤淡水池养南美白对虾高产技术[J]. 齐鲁渔业, 2002, 19(7): 37-38.
- [8] 邓 欢, 刘亚杰. 吡嘧酸(PPA)对中国对虾仔虾幼体的半致死量(EL<sub>50</sub>)及半有效量(ED<sub>50</sub>)的试验研究[J]. 水产科学, 1992, 11(4): 7-9.
- [9] 雷衍之. 淡水养殖水化学[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1993. 111-116.
- [10] 杨富亿. 盐碱湿地及沼泽渔业利用[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 20-45.
- [11] 何志辉, 姜 宏, 毕凤山. 达里湖水化学和水生生物再调研[J]. 大连水产学院学报, 1996, 11(2): 1-13.
- [12] 史为良. 我国某些鱼类对达里湖碳酸盐型半咸水的适应能力[J]. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 359-369.
- [13] 雷衍之, 董双林, 沈成钢, 等. 碳酸盐碱度对鱼类毒性作用的研究[J]. 水产学报, 1985, 9(2): 171-183.
- [14] 刘金明. 提高盐碱地渗水养殖中国对虾成活率试验[J]. 齐鲁渔业, 2001, 18(1): 13-14.
- [15] 史为良. 地下卤水、盐水和地表咸水在水产养殖中的应用问题[J]. 齐鲁渔业, 2001, 18(6): 28-30.
- [16] 王淑生, 柴晓贞. 北方地区内陆平原盐碱地兑水养殖东方对虾试验[J]. 水产科学, 2001, 20(5): 25-26.
- [17] 王守青. 盐碱地池塘渗水养虾技术[J]. 水产养殖, 2000, 4: 6-7.

## Adaptability of *Litopenaeus vannamei* to carbonate saline-alkaline waters in northeast China

YANG Fu-yi<sup>1</sup>, LI Xiu-jun<sup>1</sup>, YANG Xin-qiao<sup>2</sup>, SUN Li-min<sup>3</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Fisheries Technical Extension Department of Jilin Province, Changchun 130012, China; 3. Yingkou Fisheries Institute of Liaoning Province, Yingkou 115000, China)

Received: May, 31, 2004

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; saline alkaline waters; carbonate

**Abstract:** Acute toxicity of the carbonate-alkalinity to desalination *Litopenaeus vannamei* juvenile was determined in wild by one-way toxicity test, and the live ability of desalination *L. vannamei* juvenile in natural carbonate saline-alkaline waters in northeast China was surveyed. The results showed that the 24 h EC<sub>50</sub> of the carbonate-alkalinity was 2.73 mmol/L at pH of 7.12~8.14. The 24, 48 and 96 hours LC<sub>50</sub> of the carbonate-alkalinity to make a desalination *L. vannamei* juvenile were 12.40, 11.24 and 10.49 mmol/L at pH of 8.11~8.72 respectively, and the safe concentration was 2.77 mmol/L. Desalination *L. vannamei* juvenile can live only about 9 hours in natural carbonate saline-alkaline waters. High carbonate-alkalinity and  $c(Na^+)/c(K^+)$ , and low concentration of  $c(K^+)$  were all the insurmountable obstacles at the moment.

(本文编辑: 谭雪静)