

文章编号:1005-8737(2000)01-0082-05

水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾生存及生长的影响

王 慧, 房文红, 来琦芳

(中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090)

摘 要:通过单因子静态急性毒性试验和正交设计法, 研究水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量及 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对中国对虾生存及生长的影响。结果表明: (1) 中国对虾在水环境中能够生存的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 质量浓度范围分别为 24.92~280.66 mg/L、34.5~344.9 mg/L; (2) $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值为 1:10, 对中国对虾的生存没有影响; (3) 中国对虾的生长与 Ca^{2+} 浓度有密切关系, 其值过高或过低均会影响中国对虾的生长, 但中国对虾能够在 Mg^{2+} 浓度低至正常海水 1/2 的水中正常生长。

关键词: 中国对虾; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; 毒性; 存活; 生长

中图分类号: S912; S968.22

文献标识码: A

随着沿海对虾养殖业的发展, 内陆众多荒芜咸水水域日益引起人们的注意。要将中国对虾移植到水温适宜的内陆咸水水域中, 首先要研究这些咸水水质的特点及变化规律。本实验主要根据内陆咸水水质的复杂性, 在主要离子比例严重失调的状况下, 着重研究了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及二者之间的相互关系对中国对虾生存的影响, 为中国对虾往内陆咸水水域移植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 中国对虾 取自上海市奉贤县东海水产研究所试验场。毒性试验用虾全长 1.9~2.9 cm, 试验容器为容积 5L 的塑料盆。生长试验用虾全长 3.6~5.5 cm, 试验容器为容积 50 L 的玻璃缸。

1.1.2 试验海水与药品 试验海水是根据朱树屏^[1]人工海水 B 配方, 先配制无 Ca^{2+} 或无 Mg^{2+} 人工海水, 然后根据试验设计要求添加 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 。所用药品均为分析纯或化学纯。急性毒性试验用蒸馏水配制; 生长试验用经曝气处理后的自来水, 分析

自来水中原有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度, 在此基础上按试验要求添加 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} , 个别组因自来水中 Ca^{2+} 浓度偏高, 采取蒸馏水稀释。

1.2 方法

1.2.1 单因子静态急性毒性试验 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 单因子静态急性毒性试验分别设 10 个浓度组(表 2)。 Mg^{2+} 浓度的设置, 以 Ca^{2+} 质量浓度 34.49 mg/L 为基准, 按不同的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值而设置。采用静态急性毒性法, 暴露时间为 48 h。每盆放虾 20 尾, 对照组为天然海水(盐度 3, Ca^{2+} 34.49 mg/L, Mg^{2+} 103.47 mg/L), 各设平行组。

1.2.2 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量与 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对中国对虾静态急性毒性正交试验 该试验旨在了解 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量与 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值二者之间的关系对中国对虾生存的影响。试验是在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 单因子急性毒性试验结果的基础上设计了 2 因素($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比)3 水平的 $L_9(3^4)$ 正交试验, 对照组不列入正交设计分析, 试验设计因素及水平见表 1。采用静态急性毒性法, 观察 24 h 和 48 h 的成活率并进行分析。

急性毒性试验以虾死亡为中毒的主要观察指标, 试验期间不投饵、不换水。

1.2.3 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子生长试验 参照单因子急

收稿日期:1999-04-13

作者简介:王慧(1955-), 女, 山东荣成人, 中国水产科学研究院东海水产研究所副研究员, 从事内陆盐碱水域水产养殖研究。

性毒性试验结果, Ca^{2+} 生长试验设置 5 个质量浓度组, 分别为 17.3、20.7、27.6、34.5 和 172.5 mg/L, Mg^{2+} 生长试验仅设质量浓度为 111 mg/L 1 组, 其 Mg^{2+} 浓度为正常海水的 1/2。

试验期间, 定时投饵(早、中、晚各 1 次)、吸污(投饵后 1.5 h 开始清除粪便和残饵)。每天换水 1/3, 试验水温范围为 25.4~30℃。

表 1 正交设计试验因素及水平

Table 1 Levels of $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ and $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in the orthogonal test

因素 Factor	水平 Level		
	1	2	3
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ (A)	1:1	1:3	1:10
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ (B)	46	138	690

表 2 单因子试验的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度设置及结果*

Table 2 Design and results of single-factor test

水温/℃ Water temperature	项目 Item	编号 Group No.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19.6~21.6	$\text{Ca}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0	1.2	6.0	12.0	34.5	172.5	414.0	793.5	1104.0	1380.0
	存活率/% Survival rate	35	35	52.5	85	95	100	70	25	15	5
21.8~22.5	$\text{Mg}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0	34.5	103.5	344.9	482.9	586.3	689.8	1034.7	1379.6	2345.3
	存活率/% Survival rate	100	100	100	100	72.5	62.5	47.5	25	17	15

* 对照组中国对虾存活率为 100%。Survival rate in control groups are all 100%.

2.1.1 Ca^{2+} 对中国对虾生存的影响 表 2 显示, 中国对虾在不同质量浓度 Ca^{2+} 组中的急性中毒表现形式呈双向剂量-反应。成活率随着 Ca^{2+} 浓度的增加而上升, 又随着 Ca^{2+} 浓度的继续增加而下降。如以第 5 组 Ca^{2+} 质量浓度 34.5 mg/L 为最适浓度来划分, 把低于最适浓度范围分为低 Ca^{2+} 组, 高于最适浓度分为高 Ca^{2+} 组, 采用机率单位回归分析法进行分析, 低 Ca^{2+} 组的 LC_{50} 为 3.10 mg/L, 高 Ca^{2+} 组 LC_{50} 为 558.33 mg/L。低 Ca^{2+} 组的 LC_{10} 至高 Ca^{2+} 的 LC_{10} 应是中国对虾生存的适宜范围, 即 Ca^{2+} 质量浓度范围为 24.92~280.66 mg/L。另外, 低 Ca^{2+} 组的 LC_{90} (0.37 mg/L) 是中国对虾生存最低耐量; 高 Ca^{2+} 组的 LC_{90} (1381.19 mg/L) 是最高耐量。

2.1.2 Mg^{2+} 对中国对虾生存的影响 中国对虾对水环境中低 Mg^{2+} 表现出极大的耐受力, 从表 2 可看出, 中国对虾在无 Mg^{2+} 或 Mg^{2+} 质量浓度为 344.9 mg/L (此时的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比为 1:10) 状况下, 48 h 的存活率均为 100%, 中国对虾可以在高于正常海水

1.2.4 数据处理 试验所得数据, 均采用生物统计法进行处理^[2,3]。

(1) 单因子试验所有数据, 采用机率单位回归法计算出 LC_{50} , 以此作为评价 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾的毒性指标。并用 LC_{10} 和 LC_{90} 代表最大和最小耐量, 以反映有效作用浓度范围。

(2) 正交试验采用方差分析法, 并进行 F 检验。

(3) 试验中若对照组出现偶然死亡现象, 采用 $p = (p' - c)/(1 - c)$ 进行校正。式中 p' 为试验组观察死亡百分数; c 为对照组死亡百分数; p 为校正后的死亡百分数。

2 结果

2.1 单因子急性毒性试验

Mg^{2+} 3.1 倍的水中正常生存。 $\text{Mg}^{2+} \text{LC}_{50}$ 为 691.34 mg/L, LC_{90} 为 2290.78 mg/L。

2.1.3 盐度设置对试验结果的影响 为了进一步了解不同盐度下 Ca^{2+} 比例对中国对虾成活率的影响, 增设不同盐度 (3、6、10) 下 Ca^{2+} 单因子毒理试验, 见表 3。

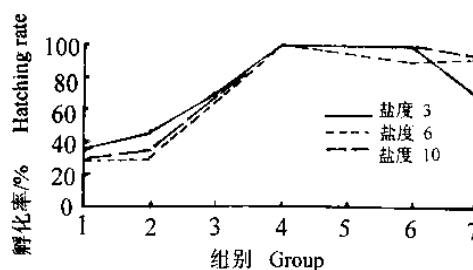


图 1 盐度与中国对虾存活率的关系图

Fig.1 Relationship between salinity and survival rate of *P. chinensis*

从图 1 可以看出, 尽管盐度不同, 但不同盐度下 Ca^{2+} 浓度比例对中国对虾生存影响的趋势基本一致。不同盐度下的 Ca^{2+} 浓度比例对中国对虾生存影响方差分析表明, 盐度的设置对中国对虾存活率

的影响没有显著性差异, 只与 Ca^{2+} 浓度比例设置有关, 表现为其对中国对虾存活率有显著影响 ($P > 0.95$)。盐度与 Ca^{2+} 浓度之间的相互作用对中国对虾存活率的影响没有显著性差异。

表 3 不同盐度的 Ca^{2+} 质量浓度

Table 3 Calcium concentration at different salinity

mg/L

盐度 Salinity	组别 Group no.					
	1(0.05)	2(0.15)	3(0.03)	4(天然海水)	5(5)	6(10)
3	1.73	5.75	11.5	34.5	172.5	345.0
6	3.45	11.5	23.0	69.0	345.0	690.0
10	5.75	19.2	38.3	115.0	575.0	1150.0

注: 括号内为实验用水 Ca^{2+} 质量浓度与正常海水 Ca^{2+} 质量浓度之比。Bracketed is the ratio of Ca^{2+} concentration in test water to that in sea water.

2.2 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量与 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 的正交试验

天然水的硬度主要由 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 组成。故

此, 一定的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 总量和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对中国对虾生存影响极大。正交试验结果见表 4。

表 4 正交试验因素水平及试验结果

Table 4 Factor levels of orthogonal design and experiment result

试验号 Experiment no	水平 Level		$\text{Ca}^{2+}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{Mg}^{2+}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	24 h 存活率/% Survival rate	48 h 存活率/% Survival rate
	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$				
1	1:1	46	23.0	23.0	95.0	87.5
2	1:1	138	69.0	69.0	97.5	97.5
3	1:1	690	345.0	345.0	100.0	97.5
4	1:3	46	11.5	34.5	95.0	67.5
5	1:3	138	34.5	103.5	100.0	95.0
6	1:3	690	172.5	517.5	100.0	100.0
7	1:10	46	4.2	41.8	87.5	65.0
8	1:10	138	12.6	125.4	97.5	65.0
9	1:10	690	62.7	627.3	100.0	97.5

为了能更好反映 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比及 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量二者之间的交互作用对中国对虾生存的影响,

特别分析了 24 h 及 48 h 中国对虾存活率, 并进行了方差分析, 详见表 5。

表 5 试验结果方差分析表

Table 5 Variance analysis of the results

变异来源 Variation source	方差 Variance		自由度 Freedom	均方 Mean square		F	
	24 h	48 h		24 h	48 h	24 h	48 h
A	3.62×10^{-3}	0.1033	2	1.83×10^{-3}	0.0517	4.012 3	14.03 8**
B	1.86×10^2	0.1875	2	9.30×10^{-3}	0.093 8	20.654*	25.472**
A × B	4.72×10^{-3}	0.089 2	4	1.18×10^{-3}	0.022 3	2.616	6.057*
总误差	3.61×10^{-3}	0.029 4	8	4.51×10^{-3}	0.003 7		

注: $F(2, 8)_{0.05} = 4.46$, $F(2, 8)_{0.01} = 8.64$, $F(4, 8)_{0.01} = 7.01$ 。* 表示显著性差异 Significant difference; ** 表示差异极显著 Extremely significant difference.

通过对各因素的均方进行 F 检验, 得出 48 h 在 $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 的置信度范围内, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$

比值、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量以及二者间的交互作用差异都非常显著, 显著性大小依次为 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} >$

$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} > \text{交互作用}$ 。

为了进一步分析 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量及 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值的最佳水平组合及各因素对中国对虾存活率影响的变化趋势,以因素水平(表 1)作横坐标,相应的存活率均值为纵坐标作图,如图 2 所示,24 h 与 48 h 中国对虾存活率趋势基本相似,中国对虾存活率随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量的增加而提高。其中, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量为 46~138 mg/L 时对虾的存活率上升尤为显著。而总量为 138~690 mg/L 时,存活率上升不显著,基本趋于缓和。

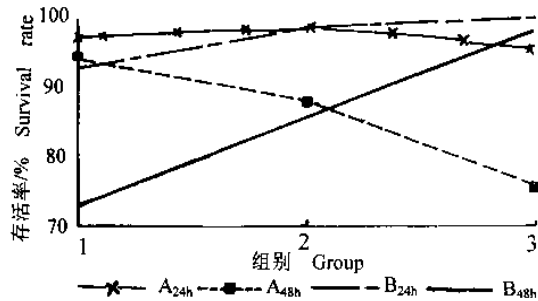


图 2 钙镁比(A)、钙镁总量(B)与中国对虾存活率关系图
Fig. 2 Relationships of $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ (A), $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (B) and survival rate of *P. chinensis*

另外,从 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值与幼虾存活率关系图看,24 h $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值在 1:1~1:3 范围内,对虾

的存活率随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量的增加有所提高,但随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量的继续增加,对虾存活率下降。48 h 对虾存活率在 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 为 1:1 时为最高,但随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量增加,其存活率下降。从正交试验结果可以得出,在本试验范围内, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量以 690 mg/L 为中国对虾的最佳质量浓度, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比在 1:1~1:3 时为对虾生存的最适范围。两者之间的交互作用随着时间的延长也会对中国对虾的存活率产生影响。

2.3 生长试验

2.3.1 Ca^{2+} 生长试验 Ca^{2+} 浓度对中国对虾生长影响试验进行了 2 次,均因试验中出现意外事故只用 8 d 的对虾生长记录。从试验情况来看,不论是低于正常海水 Ca^{2+} 浓度组还是高于正常海水 Ca^{2+} 浓度组的中国对虾移入试验组后,大多数虾均能顺利完成第 1 次脱壳,但死亡率均较正常 Ca^{2+} 组及海水对照组高,趋势与 Ca^{2+} 单因子急性毒性试验相似,亦呈双向剂量—反应。

2.3.2 Mg^{2+} 生长试验 共进行 17 d,从中国对虾的生长情况看,试验组的中国对虾均能脱离壳生长,大多数脱壳 2 次,个别脱壳 3 次。虾活动正常, Mg^{2+} 组虾的死亡主要集中在试验初期的几天内,随着试验期的延长,未见死虾情况。 Mg^{2+} 试验组与海水对照组比较,中国对虾日增重量增长速度基本一致,见表 6。

表 6 Mg^{2+} 对中国对虾生长的影响

Table 6 Effect of Mg^{2+} on growth of *P. chinensis*

组别 Group	试验尾数/尾 Sample nos./ind	脱壳数量/个 Exuviation nos./ind	死亡率/% Survival rate	体重/(g·尾 ⁻¹) Body weight	Body weight	日增重量(g·尾 ⁻¹ ·d ⁻¹) Daily weight increment
				试验初始 Initial	试验结果 End	
1/2Mg ²⁺ 组	20	35	35.3	0.360	0.78	0.0247
对照组 Control	20	44	15	0.237	0.65	0.0245

Mg^{2+} 对中国对虾生长试验结果表明,中国对虾在 Mg^{2+} 低于正常海水 1/2 的水中生长正常。

3 讨论

3.1 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及其交互作用对中国对虾生存的影响

Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 单因子急性毒性试验表明,中国对虾可以在 Ca^{2+} 浓度高于正常海水 10 倍的水中生存,但在 Ca^{2+} 浓度低于正常海水的水中耐受力较弱。而 Mg^{2+} 毒性试验结果则与 Ca^{2+} 相反,中国对虾对低 Mg^{2+} 的忍耐力较强,在无 Mg^{2+} 水中 48 h 存活率仍为 100%。但对高 Mg^{2+} 水的耐受力较弱。

通过 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对中国对虾存活率影响的正交分析, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量对对虾存活率影响最大。

为进一步考证 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量中 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 对中国对虾影响的主次性,分别对此进行了分析,并与单因子毒理试验结果进行比较。尽管在正交试验中,中国对虾存活率随着 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度的增加而提高,但主要是受到 Ca^{2+} 浓度的影响。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值中国对虾生存影响的正交试验分析表明二者之间存在着交互作用,通过 2 种离子联合作用系数 $K = \text{LC}_{50}M/(\text{LC}_{50}A + \text{LC}_{50}B)$ 的计算(式中 A、B 代表 2 种离子, M 为 A 与 B 的混

合物), $K < 1$ 时, 其交互作用表现形式为拮抗作用^[4]。

在正交试验中, 中国对虾对低 Ca^{2+} 和高 Mg^{2+} 的耐受力均有所提高, 说明 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 之间有一定互补性, 高 Ca^{2+} 对高 Mg^{2+} 则产生拮抗作用。

3.2 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对中国对虾生存的影响

$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对中国对虾的发育变态影响很大, 对中国对虾生存是否有影响, 从 Mg^{2+} 单因子试验中可以看出, Mg^{2+} 对中国对虾的生存影响不大。但在正交试验中, 中国对虾的存活率则随着 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值的增大而下降, 其主要原因亦是受到 Ca^{2+} 浓度的影响。

3.3 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾生长的影响

有关水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾生长影响的研究, 迄今未见报道。仅有戴维玲等^[5] 在罗氏沼虾的育苗中提到 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对出苗率的影响, 董双林等^[6] 对 Ca^{2+} 浓度对日本沼虾生长的育苗的影响等作过一些研究。从本试验结果看, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的多寡不仅直接影响到中国对虾的生存, 对其生长影响也很大。

甲壳类均是蜕壳生长, 在蜕壳周期中 Ca^{2+} 起着十分重要的作用。董双林等^[6] 在研究 Ca^{2+} 浓度对日本沼虾生长影响时指出, 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^[7] 也曾指出, 甲壳动物的甲壳钙化和水中 Ca^{2+} 浓度有关。甲壳类在蜕壳前期血液中主要离子浓度

升高, 尤以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的质量分数升高最为显著, 血液中高水平的 Ca^{2+} 、 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。

从 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 生长试验看, 中国对虾能够生长在 Mg^{2+} 含量为正常海水 1/2 的水中, 但对 Ca^{2+} 的要求较高。尽管中国对虾能生存在高于或低于正常海水的 Ca^{2+} 水中, 但随着时间的延长, Ca^{2+} 则成了中国对虾生长的限制因子。实验表明, 水环境中的离子组成及总量对中国对虾的生存及生长有着重要的影响。我们认为, 只有一定的离子浓度和离子比例才能满足中国对虾的生理需要。

参考文献:

- [1] 湛江水产专科学校主编. 海洋饵料生物培养[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [2] 周永欣, 等. 水生生物毒性试验方法[M]. 北京: 农业出版社, 1989.
- [3] 周季维. 生物统计入门[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1985. 179 - 185.
- [4] 朱蓓蕾. 动物毒理学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989. 33 - 34.
- [5] 戴维玲, 等. 罗氏沼虾育苗用水中 Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 含量及 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 对出苗率的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 552 - 557.
- [6] 董双林, 等. pH 值和 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): 121 - 122.
- [7] Digby P S B. Calcification in crustacean: The fundamental process [J]. Physiologist, 1980, 23: 105.

Effects of concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} on survival and growth of *Penaeus chinensis*

WANG Hui, FANG Wen-hong, LAI Qi-fang

(East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai 200090, China)

Abstract: Single - factor acute toxicity test and orthogonal design were used to study the effect of the concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ on survival and growth of *P. Chinensis*. The results indicate that shrimp would survive in seawater with Ca^{2+} 24.92 ~ 280.66 mg/L or with Mg^{2+} 34.5 ~ 344.9 mg/L; when $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ equals to 1:10, the survival of shrimp is not affected; the growth of shrimp is closely related to Ca^{2+} concentration, and higher or lower Ca^{2+} concentration can affect the growth of shrimp; shrimp can grow in the water with 1/2 Mg^{2+} concentration of seawater.

Key words: *Penaeus chinensis*; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; toxicity; survival; growth