

文章编号:1000-0615(2004)04-0413-06

Ca²⁺、Mg²⁺对凡纳滨对虾存活及生长的影响

陈昌生, 纪德华, 王兴标, 陈政强

(集美大学水产生物技术研究所, 福建 厦门 361021)

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Ca²⁺、Mg²⁺、Ca²⁺+Mg²⁺总量及Ca²⁺/Mg²⁺比值对凡纳滨对虾存活及生长的影响。结果表明:(1)凡纳滨对虾48h的Ca²⁺的LC₅₀为407.38mg·L⁻¹,Mg²⁺的LC₅₀为741.31mg·L⁻¹。(2)在Ca²⁺/Mg²⁺比值为1:10时,对凡纳滨对虾生存没有影响;(3)凡纳滨对虾的生长与Ca²⁺浓度有密切关系,其值过高或过低均会影响凡纳滨对虾的生长;在Ca²⁺/Mg²⁺比值为1:3时,凡纳滨对虾生长和存活率随着Ca²⁺+Mg²⁺质量浓度的增加而上升,但达到一定质量浓度后,又随着Ca²⁺+Mg²⁺质量浓度的继续增加而下降

关键词:凡纳滨对虾;Ca²⁺;Mg²⁺;毒性;存活;生长

中图分类号:S968.22 **文献标识码:**A

Effects of Ca²⁺ and Mg²⁺ on survival and growth of *Penaeus vannamei*

CHEN Chang-sheng, JI De-hua, WANG Xing-biao, CHEN Zheng-qiang

(Institute of Aquaculture Biotechnology, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Single-factor acute toxicity test and orthogonal design were used to study the effect of the concentrations of Ca²⁺ and Mg²⁺, Ca²⁺+Mg²⁺ and Ca²⁺/Mg²⁺ on survival and growth of *P. vannamei*. The results show that (1) The LC₅₀ of *P. vannamei* with Ca²⁺ is 407.38 mg·L⁻¹ in 48 hour, while the LC₅₀ with Mg²⁺ is 741.31 mg·L⁻¹. (2) When Ca²⁺/Mg²⁺ equals 1:10, the survival of shrimp is not affected. (3) The growth of *P. vannamei* has close relation with the concentration of Ca²⁺, which would affect the growth of *P. vannamei*, whether it is high or low. When Ca²⁺/Mg²⁺ equals 1:3, the growth and survival rate will rise with the qualitative increasing concentration of Ca²⁺+Mg²⁺. When it reaches a certain degree, those rates will descend with the increasing concentration.

Key words: *P. vannamei*; Ca²⁺; Mg²⁺; toxicity; survival; growth

凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*),俗称南美白对虾,原产于美洲太平洋沿岸水域,是当今世界上对虾类养殖产量最高的三大优良虾种之一。该虾生长快、抗环境变化能力较强、经济价值高,因而在世界各地广泛养殖。近年来,随着我国沿海对虾养殖业的发展,利用荒芜的半咸水或淡水水域

进行对虾养殖已引起人们的注意。要将南美白对虾移殖到水温适宜的内陆半咸水或淡水水域中,首先要研究这些半咸水或淡水水质的特点及变化规律。有关环境因子对南美白对虾的影响已有一些学者作了研究,如Rodriguez^[1]研究了盐度对南美白对虾渗透压调节的影响,Edwards^[2]和Menz

收稿日期:2003-07-14

资助项目:福建省重点科技项目(2000-Z-091)

作者简介:陈昌生(1957-),男,福建平潭人,教授,从事海水增养殖的研究。E-mail:cschen@jmu.edu.cn

和 Bowers^[3] 分别研究了饵料和温度对其生长的影响,朱春华^[1]研究了盐度对南美白对虾生长性能的影响。目前有关 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对南美白对虾存活及生长的影响的报道较少。本实验主要根据内陆半咸水或淡水水质的特点,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南美白对虾生存及生长的影响,为南美白对虾扩大移殖区提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 南美白对虾 实验是在集美大学水产学院海水试验场内进行的。生长实验用虾取自厦门五通对虾育苗场,选健壮活泼,附肢完整个体。体长为 1.80~2.80cm,试验容器为容积 3.0L 的小水桶。

1.1.2 试验用水与药品 急性毒性试验和生长试验用水都是根据实验设计要求在蒸馏水中添加了 NaCl 、 CaCl_2 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,所用药品均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 单因子静态急性毒性试验 单因子静态急性毒性试验分别设置 7 个浓度组。 Ca^{2+} 的质量浓度分别设置为 $0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (对照组)、 $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $500\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $700\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $900\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 Mg^{2+} 的质量浓度设置分别为 $0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (对照组)、 $300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $900\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1500\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2700\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $3300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。采用静态急性毒性法,观察时间为 48h。每个容器放虾 20 尾,温度为 $26 \pm 1^\circ\text{C}$,对照组为天然海水(盐度为 3, Ca^{2+} 为 $35.3\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, Mg^{2+} $110.9\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),实验各设平行组。

1.2.2 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量与 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值急性毒性正交试验 试验在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, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值), 3 水平的 $\text{L}_9(3^4)$ 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,观察 24h 和 48h 的成活率并进行分析。每盆放虾 20 尾,各设平行组。

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。温度为 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

表 1 正交设计试验因素及水平
Tab.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)	120	600	1000

1.2.3 $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ 为 1:3, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量与对虾存活、生长的关系试验 参照 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量与 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值对南美白对虾静态急性毒性正交试验结果,保持水中 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 为 1:3,调整 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量,设置 7 个不同的质量浓度梯度组,试验设计见表 4。每个容器放虾 15 尾,各设平行组并进行重复实验。

试验期间每天观察并记录虾的摄食,活动及死亡情况,定时投饵(早、晚各 1 次),吸污(每天早晚投饵前清除粪便和残饵)。试验期间每次以适当过量的卤虫无节幼体投喂。试验期间温度为 $25 \sim 28^\circ\text{C}$ 。

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^[5,6]。

(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+} 对南美白对虾的毒性指标。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) 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。

(3) 正交试验和生长试验采用方差分析法,并进行 F 检验。

2 结果

2.1 单因子急性毒性试验

2.1.1 Ca^{2+} 对南美白对虾生存的影响 从表 2 可以看出,南美白对虾在不同质量浓度 Ca^{2+} 组中急性中毒表现形式呈双向剂量反应。存活率随着 Ca^{2+} 质量浓度的增加而上升,但达到一定值后,又随着 Ca^{2+} 浓度的增加而下降。南美白对虾对水环境中低 Ca^{2+} 表现出极大的耐受力,在无 Ca^{2+} 或 Ca^{2+} 质量浓度为 $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,48h 的存活率均在 80% 以上,采用机率单位回归分析法进行分析, Ca^{2+} 的 LC_{50} 为 $407.38\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 LC_{10} 为 $125.31\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

L⁻¹、LC₉₀为 1324.34mg·L⁻¹。

表 2 单因子试验的 Ca²⁺、Mg²⁺ 浓度设置试验及结果

Tab.2 Design and result of single-factor test

项目 item	编号 group no.						
	1	2	3	4	5	6	7
Ca ²⁺ (mg·L ⁻¹)	0	100	300	500	700	900	1100
24h 存活率(%) survival rate	95	100	72.5	55	45	32.5	25
48h 存活率(%) survival rate	80	92.5	65	42.5	30	17.5	12.5
Mg ²⁺ (mg·L ⁻¹)	0	300	900	1500	2100	2700	3300
24h 存活率(%) survival rate	95	90	60	35	27.5	2.5	0
48h 存活率(%) survival rate	80	85	42.5	20	10	0	0

2.1.2 Mg²⁺对南美白对虾生存的影响 南美白对虾对水环境中低 Mg²⁺ 具有极大耐受力,从表 2 可知,南美白对虾在无 Mg²⁺ 或 Mg²⁺ 质量浓度为 300 mg·L⁻¹ 状况下,48h 的存活率在 80% 以上。Mg²⁺ 的 LC₅₀ 为 741.31mg·L⁻¹、LC₁₀ 为 249.46mg·L⁻¹、LC₉₀ 为 2208.00mg·L⁻¹。

2.1.3 Ca²⁺ + Mg²⁺ 总量与 Ca²⁺/Mg²⁺ 比值的正交试验 天然水的硬度主要由 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 组

成。因此,一定的 Ca²⁺ + Mg²⁺ 总量及 Ca²⁺/Mg²⁺ 比值对南美白对虾生存影响极大。正交试验结果见表 3。

为了能更好地反映 Ca²⁺ + Mg²⁺ 总量与 Ca²⁺/Mg²⁺ 对南美白对虾生存的影响,特别分析了 24h 及 48h 南美白对虾成活率,并进行方差分析,详见表 4。

表 3 正交试验因素水平及试验结果

Tab.3 Factor levels of orthogonal design and experiment result

试验号 experiment no.	水平 level		Ca ²⁺ (mg·L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg·L ⁻¹)	24h 成活率(%) survival rate	48h 成活率(%) survival rate
	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (mg·L ⁻¹)				
1	1:1	120	60	60	100	97.5
2	1:1	600	300	300	92.5	82.5
3	1:1	1000	500	500	82.5	65
4	1:3	120	30	90	100	92.5
5	1:3	600	150	450	100	100
6	1:3	1000	250	750	92.5	82.5
7	1:10	120	11	109	100	95
8	1:10	600	54	546	87.5	70
9	1:10	1000	90	901	80	62.5

表 4 试验结果方差分析

Tab.4 Variance analysis of the results

变异来源 variation source	SS		df	MS		F	
	24h	48h		24h	48h	24h	48h
A	0.011	0.0385	2	0.0055	0.01925	3.860	2.415
B	0.0339	0.0943	2	0.01695	0.04715	11.895**	5.915*
误差 error	0.0057	0.0319	4	0.001425	0.00797		
总变异 total variation	0.0506	0.1647	8				

注: F(2,8)_{0.05} = 4.46, F(2,8)_{0.01} = 8.65, F(4,8)_{0.05} = 3.84, F(4,8)_{0.01} = 7.01, * 表示显著性差异; ** 表示差异极显著

Notes: F(2,8)_{0.05} = 4.46, F(2,8)_{0.01} = 8.65, F(4,8)_{0.05} = 3.84, F(4,8)_{0.01} = 7.01. * means significant difference; ** means highly significant difference

通过对各因素的 MS 进行 F 检验,得出 24h, 48h 在 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 的置信度范围内, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 有显著性差异。

为了进一步分析 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量与 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 比值的最佳水平组合及各因素对南美白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 1 所示,24h 和 48h 南美白对虾存活率趋势基本相似,南美白对虾存活率随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 总量的增加而下降。

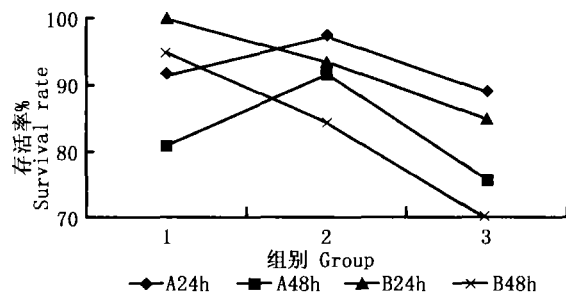


图 1 钙镁比(A)、钙镁总量(B)与南美白对虾存活率关系

Fig.1 Relationships of $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ (A), $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (B) and survival rate of *P. vannamei*

另外,从 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 比值与对虾存活率关系图看,48h 对虾存活率在 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 比值为 1:3 时为最高。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 $120\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为南美白对虾的最佳质量浓度, $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 比值以 1:3 为最佳。

2.2 $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ 为 1:3, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量对南美白对虾存活及生长的影响

实验共进行 13d,所有存活的虾都蜕壳 1 次。在试验初期的几天内,部分虾的活动出现异常,摄食量下降,体色发白并死亡,但随着试验期延长,未见死虾情况。

从试验结果来看,在 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 比值为 1:3 时,南美白对虾的存活率与生长随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 质量浓度的增加而上升,但达到一定值后,又随着 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 质量浓度的继续增加而下降,试验结果见表 5。

通过方差分析表明:当保持 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 比值为 1:3 时, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量对南美白对虾存活及生长有显著性差异。

3 讨论

3.1 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对南美白对虾存活的影响

盐度是反映水中无机盐离子含量的指标,水生动物对环境的适应一般是围绕其等渗点进行渗透压调节,这是一需要耗费能量的生理过程。从 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 单因子静态急性毒性试验表明,南美

表 5 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 为 1:3 时的南美白对虾存活及生长

Tab.5 Survival and growth of *P. vannamei* when $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ equals to 1:3

编号 group no.	Ca^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Mg^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	试验虾尾数(ind) sample no.	体长(cm) body length		平均日增长 (mm) daily length increment	存活率 (%) survival rate	脱壳数量 (ind) exuviation no.
				试验初始 initial	试验结果 end			
1	0	0	15	2.30	/	/	/	/
3	50	150	15	2.35	2.60	0.192	55.3	11
4	50	150	15	2.12	2.39	0.208	46.7	11
5	100	300	15	2.04	2.33	0.223	60	14
6	100	300	15	2.37	2.63	0.200	46.7	10
7	150	450	15	2.21	2.44	0.177	53.3	11
8	150	450	15	2.38	2.57	0.146	40	7
9	200	600	15	2.04	2.22	0.138	33.3	8
10	200	600	15	2.21	2.34	0.100	26.7	6
11	250	750	15	2.27	2.44	0.131	33.3	8
12	250	750	15	2.35	2.45	0.077	13.3	5
13	300	900	15	2.27	2.38	0.085	13.3	6
14	300	900	15	2.30	2.38	0.062	20	5

表 6 试验虾平均日增长的方差分析

Tab.6 Variance analysis of daily length increment in *P. vannamei*

变异来源 variation source	SS	df	S ²	F	F _{0.05}	F _{0.01}
Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 含量 content	0.03038	5	0.00608	11.055*	4.39	8.75
误差 error	0.00332	6	0.00055			
总变异量 total variation	0.03370	11				

表 7 试验虾存活率的方差分析

Tab.7 Variance analysis of survival rate in *P. vannamei*

变异来源 variation source	SS	df	S ²	F	F _{0.05}	F _{0.01}
Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 含量 content	0.199	5	0.0398	4.68*	4.39	8.75
误差 error	0.051	6	0.0085			
总变异量 total variation	0.148	11				

注: * 表示显著性差异; Notes: * means significant difference

白对虾在无添加 Ca²⁺、Mg²⁺的纯淡水(经曝气除氯)中,12h内就全部死亡;在添加了 NaCl(0.2%)而不添加 Ca²⁺、Mg²⁺的蒸馏水中,虽然 48h 后其存活率为 80%,但在 5d 后也全部死亡;在既添加 NaCl(0.2%)又同时添加 Ca²⁺、Mg²⁺的水中,南美白对虾的生理活动一切正常。由此可见,即使水中保持一定的盐度,但缺乏 Ca²⁺、Mg²⁺,南美白对虾仍无法生存,说明了 Ca²⁺、Mg²⁺对南美白对虾的生存起着重要作用,这一点对于在内陆水域开展南美白对虾养殖具有一定的参考和指导意义。

在淡水中,南美白对虾体内外存在较大的渗透压梯度差,为了维持自身的渗透压平衡,需要消耗更多的能量,否则会影响其正常的生理活动,造成身体的伤害甚至死亡;而在添加了 NaCl 后,南美白对虾体内外的离子浓度可能处在其等渗点附近,其用于渗透压调节的耗能较少,对其正常生理影响相对较小,造成损害的时间相对延迟;在添加了 NaCl、Ca²⁺、Mg²⁺的水中,水中的离子浓度与南美白对虾正常生活的水体离子浓度相似,能保证其正常生活。

从 Mg²⁺单因子试验中可以看出,Mg²⁺对南美白对虾的生存影响不大,但在正交试验中,南美白对虾的存活率则随着 Ca²⁺/Mg²⁺比值的增大而上升,当达到 1:3 时,则随着 Ca²⁺/Mg²⁺比值的继续增大而下降,而且 Ca²⁺/Mg²⁺比值对南美白对虾的发育变态影响较大,其主要原因是与 Ca²⁺的浓度有一定的关系。王慧等^[7]指出,从 Ca²⁺与

Mg²⁺对中国对虾影响的主次性来看,中国对虾存活率是随着 Ca²⁺、Mg²⁺浓度的增大而提高,但主要是受 Ca²⁺浓度的影响^[7]。这与南美白对虾试验的结果相一致。

3.2 Ca²⁺、Mg²⁺对南美白对虾生长的影响

有关水中 Ca²⁺、Mg²⁺对南美白对虾生长影响的研究迄今报道较少。仅有王慧等^[7]对 Ca²⁺、Mg²⁺浓度对中国对虾生长的影响,董双林等^[8]对 Ca²⁺浓度对日本沼虾生长率和能量收支的影响等做过一些研究。从本试验结果看,Ca²⁺、Mg²⁺的多寡不仅直接影响到南美白对虾的存活,对其生长影响也很大。

虾类的生长是通过蜕皮来实现其阶梯式体长增长的。即在蜕皮时体长快速增加,而蜕皮之后到下次蜕皮前体长很少增加。蜕壳伴随虾类的整个生命过程,与厚壳甲壳动物相比,对虾类的蜕壳更为频繁,而每次蜕皮后表皮钙化需要大量的钙质。Dall 等^[9]研究发现,对虾类没有钙的贮存机制,蜕皮后早期钙化对钙的需要量突然增加,必须从水中吸收获得。在低 Ca²⁺的水体中的南美白对虾,获取 Ca²⁺相对较少,蜕皮后表皮钙化困难,导致蜕皮间隔延长,从而表现出增长缓慢。这与董双林等^[8]认为水体中 Ca²⁺的浓度不同会使日本沼虾生长率和能量收支出现差异的结论相一致。Digby^[10]也曾指出,甲壳动物的甲壳钙化和水中 Ca²⁺浓度有关。甲壳类在蜕壳前血液中主要离子浓度升高,尤以 Ca²⁺和 Mg²⁺的质量分数升高最为显著,血液中高水平的 Ca²⁺、Mg²⁺有利

于抑制神经和肌肉的兴奋性,避免新壳扭曲。

从 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 为 1:3 时对南美白对虾生长试验来看,虽然南美白对虾能在较短的时间内,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+} 则成了南美白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南美白对虾的生存及生长有着重要的影响。因此认为只有有一定的离子浓度和离子比例才能满足南美白对虾的生理需要。

参考文献:

- [1] Rodriguez G A. Osmoregulation and total serum protein of two species of penaeid shrimps from the pacific coast of Mexico [J]. Journal of Crustacean Biology, 1981, (1): 392-400.
- [2] Edwards R R C. The fishery and fisheries biology of penaeid shrimp on the pacific coast of Mexico [J]. Annual Review of Oceanography and Marine Biology, 1978, (16): 107-121.
- [3] Menz A, Bowers A B. Bionomics of *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus stylirostris* Stimpson in a lagoon on the Mexican Pacific coast [J]. Estuarine and Coastal Marine Science, 1980, 10(6): 85-697.
- [4] Zhu C H. Effects of salinity on growth of *Penaeus vannamei* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2002, 29(4): 166-168. [朱春华. 盐度对南美白对虾生长性能的影响[J]. 水产科技情报, 2002, 29(4): 166-168.]
- [5] Zhou Y X. Hydrobios toxicity test means [M]. Beijing: Agriculture Press, 1989. [周永欣. 水生生物毒性试验方法[M]. 北京: 农业出版社, 1989.]
- [6] Sun J S. Hydrobios statistics [M]. Shandong: Agriculture Press, 1990. [孙尽善. 水产生物统计[M]. 山东: 农业出版社, 1990.]
- [7] Wang H, Fang W H, Lai Q F. Effects of concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} on survival and growth of *Penaeus chinensis* [J]. J Fish Sci China, 2000, 7(1): 82-86. [王慧, 房文红, 来琦芳. 水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{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.]
- [8] Dong S L, Du N S, Lai W. Effects of pH and Ca^{2+} concentration on growth and energy budget of *Macrobrachium nipponense* [J]. J Fish China, 1994, 18(2): 118-122. [董双林, 堵南山, 赖伟. 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): 118-122.]
- [9] Dall W, Smith D M. Ionic regulation of four species of penaeid prawn [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1981, 55: 219-232.
- [10] Digby P S B. Calcification in crustacean: the fundamental process [J]. Physiologist, 1980, 23: 105.

欢迎订阅 2005 年《上海水产大学学报》

《上海水产大学学报》是上海水产大学主办的以水产科学为主的综合性学术刊物。主要反映自然科学各学科的科研成果,促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源,水产养殖和增殖,水产捕捞,水产品保鲜与综合利用,渔业水域环境保护,渔船,渔业机械与仪器,渔业经济与技术管理以及基础研究等方面的论文,调查报告,研究简报,综述与评述,简讯等,并酌登学术动态和重要书刊的评价等。

目前,《上海水产大学学报》已同时被中文核心期刊要目总览定为中文核心期刊、中国科学院文献情报中心定为中国科技论文统计源期刊、中国科学技术信息研究所定为中国科技核心期刊。

本刊为季刊,大 16 开,国内外公开发行人。每期单价 6 元。全年定价 24 元(含邮费)。国际标准刊号:ISSN 1004-7271,国内统一刊号:CN 31-1613/S。国内邮发代号:4-604,国际发行代号:4822Q。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。编辑部还有《上海水产大学学报》(1992-2001 年)全文检索光盘,定价 50 元(含邮费)。欢迎订阅。

编辑部地址:上海市军工路 334 号,上海水产大学 38 信箱,邮编:200090

联系电话:021-65710892,传真:021-65680965

E-mail: xuebao@shfu.edu.cn