

饲料中钙、磷和水体盐度对南美白对虾幼虾生长的影响

黄 凯^{1,2}, 王 武², 卢 洁³, 邹光茂¹

(1. 广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁 530005; 2. 上海水产大学渔业学院, 上海 200090; 3. 广西大学生物技术实验中心, 广西 南宁 530005)

摘要: 用不同钙、磷含量的配合饲料在不同的盐度水体中对南美白对虾幼虾 (*Penaeus vannamei*) 进行饲养试验。试验采取 $L_9(3^4)$ 磷添加量设 3 个水平 0%、0.75%、1.5%、钙添加量设 3 个水平 0%、0.75%、1.5%、水体盐度设 3 个水平 4、17、30。结果显示, 各因素对南美白对虾体重日增率、饲料系数、成活率的影响大小为: 盐度 > 磷 > 钙, 对蛋白质效率的影响大小为: 盐度 > 钙 > 磷。盐度 4 时, 不添加钙的组体重日增率、饲料系数、成活率和蛋白质效率最差; 盐度 17 时, 饲料中磷的添加非常重要。南美白对虾幼虾最适的生长因素是: 盐度为 17, 钙添加量为 1.5%, 磷添加量为 1.5%。

关键词: 南美白对虾 (*Penaeus vannamei*), 钙, 磷, 盐度

中图分类号: S963.73; S912 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)02-0021-06

随着对虾养殖业的迅速发展, 关于对虾的营养生理、配合饲料及养殖技术方面的研究也有了较大进展, 李爱杰等^[1]、徐新章^[2]、周洪琪等^[3]研究了中国对虾钙、磷的需求, 张道波等^[4]研究中国对虾仔虾对磷的需要量, Deshimaru 等^[5]报道了日本对虾饲料钙、磷的需要量, Davis^[6]等研究了海水中南美白对虾饲料适宜钙、磷含量, 陈政强等^[7]研究了盐度对中国龙虾存活、生长的影响, 王慧等^[8]报道了水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾存活及生长的影响等。南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 原产于中南美太平洋沿岸水域, 1988 年由中国科学院海洋研究所从美国夏威夷引进我国, 目前已成为我国对虾主要养殖品种, 特别是咸淡水和淡水驯化养殖南美白对虾成为我国特色的对虾养殖模式, 但迄今为止关于对虾饲料钙、磷含量与养殖水体盐度的关系的研究未见报道。本试验旨在了解饲料钙、磷含量和水体盐度对南美白对虾生长等的影响及其三者之间的关系, 为不同盐度养殖水体中南美白对虾饲料适宜钙、磷含量的确定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用虾取自南宁市青山对虾育苗场。试验前, 将虾苗先暂养 4 d, 暂养期间, 逐渐调节盐度至试验设计要求。每个试验水槽 (50 cm × 40 cm × 35 cm) 分别随

机放入体重平均为 0.0389 g 的幼虾 35 尾。

1.2 试验饲料

试验配合饲料通过绞肉机挤成直径为 1.5 mm 的长条, 切成 2 mm 长的小段。在 50 ℃ 的烘箱下, 烘干 4 h 而成。饲料在水中 3 h 不溃散。各组饲料基础配方含量均相同 (89.33%), 钙、磷含量用 KH_2PO_4 和 CaCl_2 调节, 差额部分用糊精来补平。基础饲料配方见表 1。

1.3 试验方法

试验在广西大学水产养殖试验基地进行, 试验于 2001 年 8 月 4 日至 9 月 13 日共进行 40 d, 试验期间, 水温范围 25.4~31.0 ℃, DO 为 5.5~6.7 mg/L, pH 值为 6.8~7.5, 试验用水采用浓缩海水 (盐度 72) 与曝气过的自来水兑制而成, 4、17、30 盐度时, 钙离子浓度分别

收稿日期: 2002-02-19, 修回日期: 2002-05-20

基金项目: 广西大学青年基金资助项目。

作者简介: 黄凯 (1963-), 男, 广西全州人, 副教授, 上海水产大学博士生, 研究方向为集约化水产养殖和水产动物营养学, 电话: 0771-3238409, E-mail: hkai110@163.com; 王武 (1941-), 男, 通讯作者, 电话: 021-65710522, E-mail: wwang@shfu.edu.cn

表 1 基础饲料配方

Tab.1 Composition of the basal diet

组成	含量(%)
干酪素	40
明胶	8
虾糠	6
糊精	20.83
鱼油	4
胆固醇	0.5
磷脂	2
CMC	3
无机盐混合物	2
维生素混合物	3
合计	89.33

注:无机盐混合物($\times 10^{-2}\text{g/g}$): $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 3.0; KCl , 0.7; KI , 0.015; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.14; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.03; CuCl_2 , 0.05; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.005; $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.15; $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.006. 复合维生素(mg 或 IU/g): 维生素 A, 2500 IU; 维生素 D_3 , 1200 IU; 维生素 K_3 , 60 IU; 维生素 E, 50 IU; 维生素 B_1 , 10; 维生素 B_2 , 10; 维生素 B_6 , 20; 维生素 B_{12} , 0.15; 烟酸, 40; 叶酸, 5; 泛酸钙, 20; 肌醇, 150; 生物素, 0.2; 维生素 C, 150.

为 46.26, 196.60, 346.96 mg/L 。每个水槽配有循环水过滤装置, 每天换水一次, 换水量为原池的 1/3。每日 8:00, 12:00, 18:00, 22:30 各投饲一次, 投喂量以饱食为原则。试验选用 $L_9(3^4)$ 正交表设三因素 3 个水平, 共 9 组, 每组设有 3 重复, 试验安排如表 2、表 3。

表 2 钙、磷添加水平和水体盐度的水平

Tab.2 Levels of calcium phosphorus supplements and environmental salinity

水平	A(%)	B(%)	C
1	0	0	4
2	0.75	0.75	17
3	1.5	1.5	30

注:1. 基础饲料钙含量为 0.80%, 磷含量为 0.75%。2. A, B, C 分别表示钙、磷、盐度 3 个因素。

2 结果与分析

由表 4 可见, 影响南美白对虾平均体质量日增长率的重要性依次为盐度、磷、钙, 最适值为盐度 17、磷 1.5%、钙 1.5%。盐度 17 时, 体质量日增长率最大, 其次盐度 30, 盐度 4 的体质量增长率最小。盐度 4~17 随着盐度增加, 体质量增加趋势明显。饲料磷的添加量在 0~1.5% 的范围内, 以 1.5% 为最佳。次要因素为饲料钙, 随着饲料钙含量的增加, 体质量日增长率呈梯度增加,

表 3 各组因素及水平设计

Tab.3 Factor and their levels in orthogonal test design

组号	A(%)	B(%)	C
1	0(1)	0(1)	30(3)
2	0(1)	0.75(2)	4(1)
3	0(1)	1.5(3)	17(2)
4	0.75(2)	0(1)	17(2)
5	0.75(2)	0.75(2)	30(3)
6	0.75(2)	1.5(3)	4(1)
7	1.5(3)	0(1)	4(1)
8	1.5(3)	0.75(2)	17(2)
9	1.5(3)	1.5(3)	30(3)

注:每一列括号中的 1, 2, 3 三数字, 代表各因素的 3 个水平。

表 4 因素及其水平对南美白对虾体质量日增长率的影响

Tab.4 Effect of factor and their levels on weight gain/day of *P. vannamei*

组号	A	B	C	体质量日增长率(%)
1	1	1	3	72.65 $\pm$ 5.59
2	1	2	1	27.90 $\pm$ 5.47
3	1	3	2	91.55 $\pm$ 8.13
4	2	1	2	76.15 $\pm$ 10.43
5	2	2	3	76.50 $\pm$ 9.90
6	2	3	1	66.40 $\pm$ 15.06
7	3	1	1	53.90 $\pm$ 14.32
8	3	2	2	82.50 $\pm$ 4.95
9	3	3	3	92.30 $\pm$ 0.69
指标值	1 64.03 2 73.16 3 76.23	67.56 62.30 83.42	49.40 83.40 80.58	
极差	12.2	21.12	34.0	
优水平	A_3	B_3	C_2	
主次	C	B	A	

添加量以 1.5% 为最佳。在盐度 4 的 3 个组中, 其中 6 组以钙添加量 0.75%, 磷添加量为 1.5% 时, 体质量日增长率最大(66.4%), 而 2 组钙未添加, 磷添加量为 0.75% 时, 体质量日增长率最小(27.9%)。在盐度 17 时, 3 组(钙 0%, 磷 0.75%)的体质量日增长率(91.55%)最大; 盐度 30 时, 不添加钙磷的 1 组生长较好, 随着钙磷添加量的增加, 9 组(钙 1.5%, 磷 1.5%)的体质量日增长率(92.30%)最好。

表 5 显示, 影响饲料系数的主要因素依次为盐度、磷、钙, 最适值为盐度 30、磷 1.5%、钙 1.5%。饲料系数随着盐度的升高而显著降低(2.14~1.42), 从钙、磷水平来看, 饲料系数也随着饲料钙、磷含量的增

表 5 试验因素水平对南美白对虾饲料系数的影响

Tab.5 Effect of factor and their levels on food conversion

ratio of <i>P. vannamei</i>				
组号	A	B	C	饲料系数
1	1	1	3	1.50 ± 0.14
2	1	2	1	2.87 ± 0.44
3	1	3	2	1.37 ± 8.13
4	2	1	2	1.72 ± 0.18
5	2	2	3	1.36 ± 0.28
6	2	3	1	1.70 ± 0.30
7	3	1	1	1.84 ± 0.52
8	3	2	2	1.46 ± 0.17
9	3	3	3	1.40 ± 0.05
1	1.91	1.69	2.14	
指标值 2	1.60	1.90	1.51	
3	1.57	1.49	1.42	
极差	0.34	0.41	0.72	
优水平	A ₃	B ₃	C ₃	
主次	C	B	A	

加而降低,当钙、磷添加量均为 1.5% 时,饲料系数最低,分别为 1.49 和 1.57。在盐度 4 时,2 组(钙 0%,磷 0.75%)的饲料系数最高(2.87),盐度 17 的 4 组(钙 0.75%,磷 0.75%)的饲料系数最低(1.36)。

表 6 表明,影响南美白对虾平均蛋白质效率的因素依次为盐度、钙、磷,最适值为盐度 30,钙添加量为

表 6 试验因素水平对南美白对虾蛋白质效率的影响

Tab.6 Effect of factor and their levels on Protein efficiency

ratio of <i>P. vannamei</i>				
组号	A	B	C	蛋白质效率
1	1	1	3	120.9 ± 9.68
2	1	2	1	61.7 ± 2.62
3	1	3	2	130.3 ± 16.6
4	2	1	2	105.7 ± 8.98
5	2	2	3	134.0 ± 17.63
6	2	3	1	89.9 ± 20.12
7	3	1	1	97.8 ± 18.42
8	3	2	2	126.5 ± 12.02
9	3	3	3	129.7 ± 3.82
1	104.4	108.1	83.2	
指标值 2	109.8	107.4	120.8	
3	118.0	116.6	128.2	
极差	13.6	9.2	45	
优水平	A ₃	B ₃	C ₃	
主次	C	A	B	

1.5%,磷添加量为 1.5%。随着盐度的增加,蛋白质效率增大趋势明显(83.2% ~ 128.2%),在盐度 4 时,2 组(钙 0%,磷 0.75%)的蛋白质效率最低,为 61.7%。饲料钙磷的变化对蛋白质效率也有一定的影响,但不明显。

由表 7 可看出,影响南美白对虾成活率的第一影响因素为盐度,成活率随盐度水平的升高而增加(50% 至 79.6%)。尤其在盐度 4 至盐度 17,较为明显,成活率从 50% 上升到 76.7%。成活率最高的是盐度为 30 的 1 组(钙 0%,磷 0%),为 88.6%,成活率最低的是盐度为 4 的 2 组(钙 0%,磷 0.75%),为 40.0%。但饲料钙、磷的添加,对成活率无明显的影响。

从表 8 可以得出,影响南美白对虾肌肉中钙含量

表 7 试验因素水平对南美白对虾成活率的影响

Tab.7 Effect of factor and their levels on survival rate *P.*

<i>vannamei</i>				
组号	A	B	C	成活率(%)
1	1	1	3	88.6 ± 4.03
2	1	2	1	40.0 ± 3.01
3	1	3	2	70.0 ± 7.02
4	2	1	2	74.3 ± 10.20
5	2	2	3	85.7 ± 4.03
6	2	3	1	51.4 ± 7.80
7	3	1	1	58.6 ± 8.00
8	3	2	2	85.7 ± 8.70
9	3	3	3	64.3 ± 6.08
1	66.2	70.5	50.0	
指标值 2	70.5	70.0	76.7	
3	69.5	61.0	79.6	
极差	4.3	9.5	29.6	
优水平	A ₂	B ₁	C ₃	
主次	C	B	A	

的第一影响因素为盐度,第二影响因素为饲料磷,最后才是饲料钙。而影响南美白对虾肌肉中磷含量的第一影响因素为饲料磷,其次是饲料钙,最后是盐度。肌肉中的磷含量随着钙含量的增加而有所增加。对各组的体质量日增率和肌肉 Ca/P 进行相关性分析发现,两者呈显著的负相关关系,相关系为: $Y = 129.71 - 260.20 X$ ($r = -0.9185$, $P < 0.05$)。

对饲养结果进行方差分析,体质量日增率和饲料系数方差分析结果极显著,蛋白质效率成活率结果显著,且与各分析的因素主次顺序完全相符,表明直观分析法所求得各因素的优水平及因素主次顺序完

表 8 因素及其水平对南美白对虾肌肉钙、磷含量的影响

Tab.8 Effect of factor and their levels on composition of Calcium and phosphorus in the muscle of *P. vannamei*

组号	A	B	C	钙含量(%)	磷含量(%)	钙/磷
1	1	1	3	0.197±0.035	1.099±0.094	0.179
2	1	2	1	0.441±0.029	1.176±0.115	0.376
3	1	3	2	0.209±0.010	1.232±0.045	0.170
4	2	1	2	0.196±0.005	1.093±0.185	0.179
5	2	2	3	0.231±0.090	1.222±0.010	0.188
6	2	3	1	0.440±0.200	1.558±0.605	0.283
7	3	1	1	0.299±0.034	1.074±0.105	0.278
8	3	2	2	0.208±0.005	1.149±0.080	0.181
9	3	3	3	0.240±0.055	1.241±0.055	0.193
	钙% (磷%)	钙% (磷%)	钙% (磷%)			
指标值	1	0.283 (1.169)	0.231 (1.089)	0.394(1.188)		
	2	0.289 (1.291)	0.294(1.183)	0.204(1.269)		
	3	0.249 (1.155)	0.296 (1.344)	0.157(1.158)		
极差	0.040 (0.136)	0.065 (0.255)	0.237(0.111)			
主次	钙: C B A	磷: B A C				

表 9 方差分析结果

Tab.9 Results of the analysis of variance

因素 F 值	体质量日增率(%)	饲料系数	蛋白质效率	成活率(%)
A	3.25 NS	2.29 NS	0.48 NS	0.01 NS
B	9.83 **	8.0 **	0.22 NS	0.73 NS
C	29.00 **	58.47 **	5.66 *	5.17 *
$\lambda = 0.05$	4.10	4.10	4.10	4.10
$\lambda = 0.01$	7.56	7.56	7.56	7.56

注:“NS”表示不显著($P>0.05$),“*”表示显著($P<0.05$),“**”表示极显著($P<0.01$)。

全正确。

3 讨论

3.1 饲料钙、磷含量及水体盐度对南美白对虾体质量增长率的影响

在本试验中,盐度是体质量增长率的第一影响因素,盐度对南美白对虾的体质量增长率有显著差异($P<0.05$),盐度 17 时,体质量日增率最大。Edwards^[9-11]曾在墨西哥地区研究调查发现,南美白对虾仔幼虾多栖息于盐度较低河口及与港湾半咸水水域。本试验结果与之相吻合。

钙是构成体壳的主要物质,并参与肌肉功能、神经传递、调节渗透压,酶促反应等的重要的生理过程。磷也是构成体壳的主要物质,并且是蛋白质、核酸和磷脂等许多生物活性物质的重要成分,对虾对磷有很大的依赖性,磷含量过低时,直接影响对虾的

蜕壳活动和生长。本试验结果表明,在盐度 4 时,饲料中钙、磷的添加,体质量增长率明显提高,2 组(钙 0%,磷 0.75%)的体质量日增率仅为 26.7%,7 组(钙 1.5%,磷 0%)的体质量日增率达 53.1%,说明水体盐度较低时,水体中的钙和基础饲料 0.80%的钙还不能满足对虾机体的需要,饲料钙的添加对体质量增长率的影响比饲料磷更为重要。在盐度 17 时,3 组(钙 0%,磷 0.75%)的体质量日增率(91.55%)比 4 组(钙 0.75%,磷 0%)的体质量日增率(76.15%)大,并说明水体中的钙和基础饲料 0.80%的钙已能满足对虾机体的需求,而基础饲料 0.75%的磷还不能满足对虾机体的需要,饲料磷的添加对体质量增长率的影响比饲料钙更为明显。另外,3 组与 2 组相比,相同的钙、磷添加量(钙 0%,磷 0.75%)条件下,3 组体质量日增率(91.55%)比 2 组(26.7%)大得多,这主要是因为盐度的影响。盐度对

体质量增长率的影响,除了渗透压的影响外,高盐度水体还为对虾提供了充足的无机盐。Robertson^[12]认为,水生生物通过鳃、皮肤可以逆浓度梯度从水中吸收无机离子。Shewbart^[13]等报道,对虾能通过浸透从海水中获得所需要的钙、钠、钾、氯,对于磷则因其在海水中含量低,需要从饲料中摄取。陈立侨、堵南山等^[14]研究表明,水中添加钙以后,蟹体的钙含量、饲料转化率、蛋白质利用率都得以提高。张道波等^[4]认为对虾可以有效地利用水体中的钙,非精制饲料中一般不需要添加钙。徐新章^[2]对河蟹的研究指出,饲料中不需补加钙盐,而应该提高水体中钙含量供河蟹吸收,但饲料中必须补加磷酸盐,以提高河蟹对磷的需求量。Deshimaru 等^[5]指出日本对虾饲料不需要添加钙。Davis 等^[6]研究海水条件下南美白对虾的饲料钙、磷需求中报道,饲料中不需添加钙,而磷的添加量与饲料中钙的含量有关,当钙含量小于 0.34% 时,不需要添加磷;而钙含量为 0.5 ~ 1.0% 时,应添加 1% 的磷,钙含量为 1 ~ 2% 时,应添加 2% 的磷。本试验在盐度 30 时,不添加钙磷的 1 组生长较好,随着钙磷的添加,9 组(钙 1.5%, 磷 1.5%)的体质量增长率最好,与 Davis 等^[6]研究结果相吻合。本试验水体 17、30 盐度时,钙浓度分别为 196.60、346.96 mg/L,水体中的钙离子和基础饲料钙含量(0.8%)基本能满足虾的生理需要,但在饲料中加入适量钙磷,更能促进对虾生长,南美白对虾幼虾生长的最适值为盐度 17、磷 1.5%、钙 1.5%。

3.2 饲料钙、磷含量及水体盐度对南美白对虾饲料系数、蛋白效率的影响

饲料系数、蛋白质效率的第一影响因素均是盐度。广盐性动物在外界盐度大幅度变化的情况下,主动将其体液渗透压调节于小范围内,而且许多广盐性的对虾能在较低的盐度环境中保持一定的渗透浓度。研究表明,生活在低盐度水域的对虾耗氧率大,且消耗的能量也高(Dalla^[15], 臧维玲等^[16])。在等渗盐度(即等渗点)条件下,对虾只需维持体液渗透浓度而耗能最小,生长最快,低于等渗盐度海洋动物行高渗调节,高于等渗透盐度则行低渗调节,偏离等渗盐度越远,海洋动物渗透压耗能越多,生长受其影响也越大。本试验在盐度 4 时,有较高的饲料系数和较低的蛋白质效率,而在盐度 17 和 30 时则相反,估计盐度 17 和 30 比较接近于等渗点。饲料系数的第二影响因素是饲料钙,蛋白质效率的第二影响因素是磷。一般而言,饲料钙、磷通过促进对虾的生长来提高饲料及蛋白质效率,而且,钙、磷交互作用很强,两者的功能既有一致性,也有差异性。如磷是 ATP 的组成成分,与能

量代谢密切相关,钙是 Ca-ATPase 的激活剂,调控膜的通透性,控制细胞对蛋白质等营养成分的吸收。

3.3 饲料钙、磷和水体盐度与南美白对虾成活率的关系

在本试验中,盐度是成活率的第一影响因素,盐度对南美白对虾的成活率有显著差异($P < 0.05$),成活率随着盐度的升高而增加(50.0% ~ 79.6%)。笔者在试验中观察到,南美白对虾在高盐度水体中,自相残杀的现象少见,此现象大多发生在蜕壳阶段,蜕壳虾恢复到能够游动所需的时间越长,受到其他虾攻击的机会就越多,高盐度水体的高成活率,可能与蜕壳虾的软甲壳钙化能力有关。陈政强等^[7]报道,中国龙虾的存活率因盐度不同而有一定的差异。本试验虽然在盐度 4 时,饲料中添加钙、磷后,成活率有所提高(40.0% ~ 51.4%, 58.6%)但方差分析表明,饲料中添加的钙、磷对成活率的影响并不显著($P > 0.05$)。在本试验的盐度范围内,说明饲料中添加的钙、磷对南美白对虾的成活率并不构成很大的影响。

3.4 饲料钙、磷和水体盐度对南美白对虾肌肉中钙、磷含量的影响

鱼虾机体的钙、磷含量,常常作为研究鱼虾饲料最适钙、磷含量的一个参考指标^[17,18]。在本试验中,盐度是肌肉中钙含量的第一影响因素,在盐度 4 的情况下,对虾肌肉钙含量较高,而在盐度 17、30 钙含量较低,这可能与对虾体液中钙的代谢有关,生长缓慢的对虾蜕壳频率低,钙的代谢慢,以致体内钙含量增大。饲料中添加的磷是肌肉中钙含量的第二影响因素,随着饲料中添加磷含量的增加(0 ~ 1.5%),肌肉中钙含量也呈一定的增加趋势(0.231% ~ 0.296%),这也说明肌肉中钙、磷含量的吸收,很大程度上取决于两者之间的协调吸收,两者呈一定的比例关系进行吸收。相对而言,饲料钙的添加对肌肉钙含量的影响不明显。由试验结果可知,1 ~ 3 组在饲料中不添加钙的情况下,并没有导致肌肉中钙含量的下降,相反在添加 1.5% 钙含量的 7 ~ 9 试验组中,肌肉中钙的含量较低。饲料中添加的磷对肌肉磷的含量起决定性作用,它随着饲料中添加磷含量的增加(0 ~ 1.5%),肌肉中磷的含量有明显的增加趋势(1.089% ~ 1.344%)。盐度和饲料钙的增加,对肌肉中磷含量的影响并不呈规律性的变化。经回归统计分析表明,体质量日增率和肌肉 Ca/P 呈极显著的负相关, $Y = 129.71 - 260.20X$ ($r = -0.9185$, $P < 0.01$)。由此可见,虾体肌肉 Ca/P 可以作为饲料钙磷需要量及生长的一个辅助指标,笔者在另一试验中也证明了这一点。

参考文献:

- [1] 李爱杰, 黄宝潮, 楼伟风, 等. 饵料中钙磷含量及比值对东方对虾 (*Penaeus orientalis*) 生长的影响[J]. 山东海洋大学学报, 1986, 16: 10 – 17.
- [2] 徐新章. 河蟹蜕壳前后蟹体与蟹壳中钙、磷变化的研究[J]. 江西水产科技, 1996, 63: 21 – 27.
- [3] 周洪琪, 王义强, 王顺昌. 中国对虾对于饲料钙、磷、镁、钾、铁的营养需求量[J]. 上海水产大学学报, 1993, 2: 113 – 117.
- [4] 张道波, 马琳, 马. 中国对虾仔虾对磷需要量的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30: 63 – 67.
- [5] Deshimaru O, Yone Y. Requirement of prawn for dietary mineral[J]. *Bull Jan Soc Sci Fish*, 1978, 44: 907 – 910.
- [6] Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M. Response of *Penaeus vannamei* to dietary calcium, phosphorus and calcium: phosphorus ratio[J]. *J World Aquacult Soc*, 1993, 24: 504 – 515.
- [7] 陈政强, 陈昌生, 吴仲文. 盐度对中国龙虾存活生长的影响[J]. 集美大学学报, 2000, 5(1): 32 – 37.
- [8] 王慧, 方文红, 朱琦芳, 等. 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): 81 – 86.
- [9] Edwards R R C. Field experiments on growth and mortality of *Penaeus vannamei* in a Mexican coastal lagoon system [J]. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 1977, 5: 107 – 121.
- [10] Edwards R R C. Ecology of a coastal lagoon complex in Mexico [J]. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 1978, 6: 75 – 92.
- [11] Edwards R R C. The fishery and fisheries biology of penaeid shrimp on the pacific coast of Mexico [J]. *Oceanography and Marine Biology*, 1978, 16: 145 – 180.
- [12] Robertson J D. Further studies on ionic regulation in marine invertebrates [J]. *J Expt Biol*, 1953, 30: 277 – 298.
- [13] Shewbart K L, Mies W L, Ludwig P D. Nutritional requirements of the brown shrimp *Penaeus aztecus* [M]. Maryland: NOAA, Office of Sea Grant Rockville, 1973.
- [14] 陈立侨, 堵南山, 赖伟. 水体和配合饲料中钙、磷含量对河蟹生长的影响[J]. 淡水渔业, 1994, 24: 3 – 15.
- [15] Dalla Via G J. Salinity responses of the juvenile Shrimp *P. japonicus* [J]. *Aquaculture*, 1986, 5: 297 – 306.
- [16] 臧维玲, 戴习林, 江敏, 等. 盐度对日本对虾生长与瞬时耗氧率的影响[J]. 上海水产大学学报, 2002, 2: 114 – 117.
- [17] Andrews J W, Murai T, Campbell C. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish [J]. *J Nutr*, 1973, 103: 766 – 771.
- [18] Sakamoto S, Yone Y. Effect of dietary calcium/phosphorus ratio upon growth feed efficiency and blood serum Ca and P level in red sea bream [J]. *Bull Jan Soc Sci Fish*, 1973, 39: 343 – 348.

Effect of dietary calcium phosphorus and environmental salinity on growth of juvenile *Penaeus vannamei*

HUANG Kai¹, WANG Wu², LU Jie³, ZOU Guang-mao¹

(1. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. Fisheries College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China; 3. Biotechnology Research Center, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Received: Feb., 19, 2003

Key words: *Penaeus vannamei*; calcium, phosphorus, salinity

Abstract: This experiment was conducted on three factors of growth in juvenile *Penaeus vannamei* by using the $L_9(3^4)$ table of orthogonal design for three levels of calcium supplements (0%, 0.75%, 1.5%), three levels of phosphorus supplements (0%, 0.75%, 1.5%) and three environmental salinity levels (4, 17, 30). Results show that the effect on weight gain, feed conversion ratio and survival rate were as follows: salinity > phosphorus > calcium, the effect on protein efficiency ratio were: salinity > calcium > phosphorus, in the range of the factor levels. A diet without Calcium Supplement had by far the lowest growth, survival rates and food conversion in salinity 4 group. The phosphorus dietary supplement had a major effect on growth in the salinity 17 group. An orthogonal design was employed to determine optimum levels for environmental salinity (17), phosphorus supplements (1.5%) and calcium supplements (1.5%).

(本文编辑: 刘珊珊)