

文章编号: 1000-0615(2008)03-0425-09

## 不同盐度下饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾生长、体成份 和肝胰腺组织结构的影响

李二超<sup>1</sup>, 陈立侨<sup>1</sup>, 曾 嶂<sup>2</sup>, 熊泽泉<sup>1</sup>, 林 琛<sup>2</sup>, 孙新瑾<sup>1</sup>, 王永强<sup>2</sup>, 侯礼森<sup>3</sup>

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200062;

2. 海南大学海洋学院水产系, 海南 海口 570228;

3. 海口中科热带海洋研究开发中心, 海南 海口 570206)

**摘要:** 设计了蛋白质含量为 20.61%、30.52%、40.43% 和 50.34% 的 4 种饵料(分别为 CP20、CP30、CP40 和 CP50), 研究饵料蛋白质含量对不同盐度下(分别为低盐度 LS 2、中盐度 MS 22 和高盐度 HS 32) 凡纳滨对虾[(0.0144 ± 0.0047)g] 生长、成活及体成份的影响, 测定了不同处理组对虾的肝胰腺指数(HIS)和肥满度(CF), 试验为期 8 周。结果显示:(1) 盐度对凡纳滨对虾的生长、成活、肥满度和灰分含量均有显著影响( $P < 0.05$ ), 而对肝体指数、体粗蛋白、体粗脂肪和水分无显著影响( $P > 0.05$ ), 中盐度组对虾各指标均最高, 其次为高盐度组, 低盐度组最低; 中、高盐度组对虾的增重率、特殊体重(长)增长率均显著高于低盐度组对虾( $P < 0.05$ ), 而中、高盐度组对虾的各生长指标无显著差异( $P < 0.05$ ); (2) 饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾的各生长指标和体粗蛋白含量影响显著( $P < 0.05$ ), 对其它各指标影响不显著( $P > 0.05$ )。各盐度下, 对虾生长和体粗蛋白含量均随饵料蛋白质含量升高而升高, 投喂 CP20 的对虾组显著低于其它各处理组( $P < 0.05$ ); 肥满度和肝体指数均先随饵料蛋白质含量升高至 40.43% 而升高, 然后稍有下降; 饵料蛋白质含量对各盐度下对虾成活率影响均不显著( $P > 0.05$ )。 (3) 双因素方差分析结果显示, 盐度和饵料蛋白质含量, 除对体灰分含量存在着显著的交互作用外( $P < 0.05$ ), 对其它体生化成份含量、生长及体形态指标的交互作用均不显著( $P > 0.05$ )。 (4) 饲料蛋白质含量明显影响了凡纳滨对虾肝胰腺的组织结构, 投喂 CP30 和 CP40 饵料的对虾肝小体基膜完整, 投喂 CP40 对虾的肝小体中还出现了大量的存储细胞(R 细胞); 而投喂 CP20 饵料的对虾肝小体分布松散, R 细胞数量较小, 并且部分肝小体基膜破损; 而投喂 CP50 饵料的对虾的肝小体排列紧密, 且 B 细胞内出现大量内容物质。结果提示, 提高饵料蛋白质含量虽然在一定程度上加快对虾的生长速度和增加肥满度, 但是并不能提高低盐度下凡纳滨对虾的成活率。饲料中蛋白质含量的不适宜, 尤其是含量过低, 会导致对虾肝胰腺的结构发生变化甚至发生不同程度的病理变化。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 饵料蛋白质; 盐度; 生长; 成活率; 体成份; 组织学结构

**中图分类号:** S 963

**文献标识码:** A

随着养殖技术的不断发展和完善, 海水养殖品种淡化养殖成为了水产养殖发展方式之一, 该方式一方面缓和了海水养殖对沿岸海洋环境的

污染, 另一方面也促进内陆水产养殖业的发展。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 的淡化养殖已经成为内陆养殖的一个亮点, 迄今已在美国、

收稿日期: 2007-08-10

资助项目: 上海市优秀学科带头人计划(05XD14005); 上海市曙光跟踪计划项目(06GG06); 上海市科委基础重大专项(06DJ14003); 华东师范大学 2007 年优秀博士生培养基金资助

作者简介: 李二超(1979-), 男, 河北沧州人, 博士研究生, 主要从事水产动物营养和水产养殖研究。Tel: 021-62233579, E-mail: lierchao@21cn.com

通讯作者: 陈立侨, Tel: 021-62233637, E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn

泰国及厄瓜多尔等国家得到了迅速的发展<sup>[1-2]</sup>。盐度是影响水产动物机体生理反应的重要因子之一,不同盐度下水产动物表现出不同的适应状态。以往关于凡纳滨对虾的研究大部分以海水养殖环境为出发点,只有少量的研究涉及到盐度,尤其是低盐度对凡纳滨对虾生理生化方面的影响。因此,加强不同盐度下凡纳滨对虾的生理生化反应的系统研究,尤其是不同盐度下凡纳滨对虾的营养需要及不同盐度下各营养素对凡纳滨对虾的特殊生理作用,对于凡纳滨对虾的健康生态养殖有着十分重要的现实意义。

对虾在适应盐度变化的过程中,机体内的有机物质会有一定的损耗。虽然这些物质源于组织细胞内的合成,但这些物质归根到底仍需由外源饲料提供<sup>[3]</sup>。饲料蛋白质是对虾氨基酸的主要来源,且很多氨基酸被大量用于调节渗透压提供能量<sup>[4]</sup>。有关于不同盐度下,饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾的影响仅限于对虾生长成活、饵料转化率及极低盐度下饵料蛋白水平对对虾生长和免疫力的影响<sup>[5-7]</sup>,但不同盐度下凡纳滨对虾对饵料蛋白质营养的生理适应,以及饵料蛋白质和盐度对凡纳滨对虾的交互作用尚未进行深入的研究和讨论。

本文研究了饵料蛋白质含量对不同盐度下凡纳滨对虾生长成活、体形态指标、体成份的影响,全面分析了盐度和饵料蛋白质及两者对凡纳滨对虾的交互作用,并研究了饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾肝胰腺组织学结构的影响,以期丰富不同盐度下凡纳滨对虾养殖生物学基础资料,并为不同盐度凡纳滨对虾饲料配制和配方优化提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验饵料

试验以鱼粉、豆粕为蛋白源,鱼油和卵磷脂为主要脂肪源,配制了蛋白质含量分别为20.61%、30.52%、40.43%和50.34%的四种等能量的饵料,饵料原料经粉碎后过60目筛,均匀混合后用制粒机制成直径为2mm的颗粒饵料,饵料粗蛋白、粗脂肪和碳水化合物含量测定分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法与DNS法,粗能量按蛋白质23.73kJ,脂肪39.69kJ,碳水化合物17.22kJ进行计算,具体饵料成分见表1。

### 1.2 试验动物驯化、分组和管理

试验用幼虾购自海南文昌市会文虾苗场。虾苗先在实验室暂养1周,暂养殖条件为水温 $(28.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、pH  $7.5 \pm 0.2$ ,然后用经充

表1 试验用饵料成分及含量  
Tab. 1 Compositions of experimental diets

饵料成分 ingredients	饵料 diets			
	CP50	CP40	CP30	CP20
鱼粉 fish meal	60.00	48.00	36.00	24.00
豆粉 soybean meal	30.00	24.00	18.00	12.00
麦麸 wheat gluten	0.50	1.50	2.50	3.50
面粉 wheat starch	0.00	17.00	34.00	51.00
鱼油 fish oil	2.00	2.00	2.00	2.00
胆固醇 cholesterol	0.50	0.50	0.50	0.50
复合维生素 <sup>1)</sup> vitamin premix	2.00	2.00	2.00	2.00
复合矿物质 <sup>2)</sup> mineral premix	2.00	2.00	2.00	2.00
卵磷脂 lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00
粘合剂 <sup>3)</sup> binder	2.00	2.00	2.00	2.00
蛋白质(%) crude protein	50.34	40.43	30.52	20.61
能量 (kJ·kg <sup>-1</sup> ) diet	163.20	162.93	162.65	162.38

注:1)复合维生素(g·kg<sup>-1</sup>预混料):维生素B<sub>1</sub>0.5,维生素B<sub>6</sub>1.0,核黄素3.0,泛酸钙5.0,烟碱酸5.0,生物素0.05,叶酸0.18,维生素B<sub>12</sub>0.002,氯化胆碱100.0,肌醇5.0,维生素K2.0,维生素A5.0,维生素D<sub>3</sub>0.002,维生素E8.0,α-纤维素865.266。2)复合矿物质(g·(100g)<sup>-1</sup>预混料):CoCl<sub>2</sub>0.001,CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O0.0625,FeSO<sub>4</sub>1.0,MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O7.0995,MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O0.1625,KI0.0167,Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>0.0025,ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O3.298,载体83.3573。3)粘合剂为瓏宝牌HJ-I水产饲料粘合剂

分曝气的自来水调节盐度,进行驯化,每天盐度调节范围为2。驯化期间投喂营养成分为蛋白质40.02%、粗脂肪8.5%、水分10.2%和灰分12%的商业饲料。待分别调至目标盐度(为低盐度2、中盐度22和高盐度32)并稳定后,投喂试验用饵料,开始正式试验,试验每一处理设3个平行,每个缸(60 cm × 50 cm × 50 cm)放虾40只[体重(0.0144 ± 0.0047) g,体长(1.424 ± 0.265) g],共12个处理组(36个缸),日投喂2次,分别在8:00和20:00进行,采用饱食投喂法,投食量根据对虾的摄食情况进行适当调整。试验为期8周。

试验期间每天用温度计测定每试验缸水温,水体盐度每天用折射计进行测定,并进行调节,每周不定期用溶氧仪和便携式pH值测定水体溶解氧和pH值2~3次,氨氮采用试剂盒快速测定。整个养殖期间,水温为27.4~29.3℃,溶解氧为6.63~7.34 mg · L<sup>-1</sup>,总氨氮<0.01 mg · L<sup>-1</sup>,pH值8.3 ± 0.2。

### 1.3 取样、样品测定及计算

试验结束后,统计每缸虾存活个体数,随机从每缸取虾10只测定体长、体重和肝重,并随机每缸取5只测定虾体水分、粗蛋白质、粗脂肪及灰分含量。水分测定采用105℃烘干法,粗蛋白质测定采用凯式定氮法,粗脂肪和灰分分别采用索式抽提法和马福炉550℃灼烧法进行测定。生长评价指标采用增重率(weight gain, WG)和特殊增长率(specific growth rate, SGR),其计算公式为:

$$\text{增重率}(\%) = (\text{末重} - \text{初重}) / \text{初重} \times 100$$

$$\text{特殊体重增长率}(\%) = 100 \times (\text{Ln 末体重} - \text{Ln 初体重}) / \text{实验天数}$$

$$\text{特殊体长增长率}(\%) = 100 \times (\text{Ln 末体长} - \text{Ln 初体长}) / \text{实验天数}$$

成活率(survival rate, SR)计算公式为:

$$\text{成活率}(\%) = \text{实验结束后虾体个数} / \text{实验开始时虾体个数} \times 100$$

体形态学的计算公式为:

$$\text{肝体指数(hepatosomatic index, HIS, \%)} = \text{肝重} / \text{体重} \times 100$$

$$\text{肥满度(condition factor, CF, \%)} = 100 \times \text{体重} / \text{体长}^3$$

### 1.4 肝组织的固定与切片

中盐度(MS)下各处理组肝胰腺迅速称重

后,即用Bouin氏液固定24 h,常规石蜡包埋, HM-325轮转切片机制片, HE染色,切片厚度5 μm。OLYMPUS BX51显微镜观察并摄影。

### 1.5 统计分析

数据以平均值 ± 标准差(mean ± SD)表示,试验结果用SPSS 14.0软件包进行处理,在双因素方差分析的基础上,采用Duncan氏多重比较法检验组间差异( $P = 0.05$ )。

## 2 结果

### 2.1 饵料蛋白质含量对不同盐度下凡纳滨对虾生长的影响

表2显示了饵料蛋白质含量对高、中和低三种盐度下凡纳滨对虾增重率、特殊体长和体重增长率的影响。从表2可以看出,盐度和饵料蛋白质含量均显著影响凡纳滨对虾的各生长指标( $P < 0.01$ )。对虾的增重率、特殊体长和体重增长率均随饵料蛋白质含量升高而逐渐升高,低盐度下凡纳滨对虾各生长指标均显著低于中、高盐度下投喂相同蛋白质含量饲料的对虾;相同盐度下,投喂CP40和CP50饲料组均显著高于投喂CP20组( $P < 0.05$ ),而投喂CP30组与其它3试验组的关系依不同盐度稍有所不同;从总体上看,中盐度下投喂相同蛋白质含量饲料的对虾表现出较好生长趋势,其中,投喂CP30、CP40、CP50的对虾各指标均高于其它投喂相同蛋白质含量饲料的对虾试验组,但双因素方差分析显示饵料蛋白质含量和盐度对凡纳滨对虾生长的影响却不显著( $P > 0.05$ )。

蛋白质和盐度对凡纳滨对虾的影响有所不同(表3),饲料蛋白质含量极显著地影响了对虾的肝体指数和肥满度( $P < 0.01$ ),两者均随饲料蛋白质含量升高而先有所升高,待升高至CP50时却稍有下降。各盐度下,各试验组对虾成活率均以投喂CP20饲料组最低,但饲料蛋白质含量对成活率影响不显著( $P > 0.05$ )。与蛋白质含量不同,盐度极显著影响了对虾的肥满度和成活率( $P < 0.01$ )。其中,投喂CP20的对虾的肝体指数显著低于投喂其它蛋白质含量组的对虾( $P < 0.05$ ),而对于肥满度,投喂CP40和CP50组的对虾肥满度显著高于其它两试验组( $P < 0.05$ )。从总的趋势来看,对虾肝体指数和肥满度先随饵料蛋白质含量升高而升高,至40.43%时达到最高,

表 2 不同处理组凡纳滨对虾的增重率和特殊增长率  
Tab. 2 Growth performance of *L. vannamei* of different treatments

盐度 salinity	饲料 diets	增重率 (%) weight gain	特殊体重增长率 (%) SGR(W)	特殊体长增长率 (%) SGR(L)
LS	CP20	2431.452 ± 563.726 <sup>a</sup>	5.725 ± 0.441 <sup>a</sup>	1.943 ± 0.143 <sup>a</sup>
	CP30	5436.248 ± 2883.861 <sup>bc</sup>	6.932 ± 0.990 <sup>bc</sup>	2.336 ± 0.302 <sup>bc</sup>
	CP40	7485.320 ± 2511.277 <sup>cd</sup>	7.656 ± 0.517 <sup>d</sup>	2.530 ± 0.190 <sup>d</sup>
	CP50	8287.433 ± 3539.478 <sup>cd</sup>	7.745 ± 0.839 <sup>d</sup>	2.569 ± 0.260 <sup>d</sup>
MS	CP20	3948.099 ± 1496.005 <sup>ab</sup>	6.496 ± 0.677 <sup>b</sup>	2.170 ± 0.245 <sup>b</sup>
	CP30	8213.755 ± 3317.626 <sup>d</sup>	7.764 ± 0.726 <sup>d</sup>	2.563 ± 0.230 <sup>d</sup>
	CP40	13152.937 ± 3641.433 <sup>e</sup>	8.664 ± 0.506 <sup>e</sup>	2.841 ± 0.147 <sup>e</sup>
	CP50	14822.499 ± 3892.870 <sup>e</sup>	8.883 ± 0.471 <sup>e</sup>	2.913 ± 0.145 <sup>e</sup>
HS	CP20	4014.826 ± 1263.103 <sup>ab</sup>	6.559 ± 0.566 <sup>b</sup>	2.192 ± 0.195 <sup>b</sup>
	CP30	6772.176 ± 2801.731 <sup>bcd</sup>	7.439 ± 0.654 <sup>cd</sup>	2.475 ± 0.210 <sup>cd</sup>
	CP40	12455.084 ± 3174.974 <sup>e</sup>	8.582 ± 0.433 <sup>e</sup>	2.812 ± 0.144 <sup>e</sup>
	CP50	14204.581 ± 4348.890 <sup>e</sup>	8.795 ± 0.510 <sup>e</sup>	2.912 ± 0.203 <sup>e</sup>
影响因素 factors		双因素方差分析结果(P 值) P values of two-way ANOVA		
蛋白质 protein		0.000	0.000	0.000
盐度 salinity		0.000	0.000	0.000
蛋白质 × 盐度 protein × salinity		0.056	0.844	0.802

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异( $P < 0.05$ )

Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different ( $P < 0.05$ )

表 3 不同处理组凡纳滨对虾的成活率、肝体指数和肥满度  
Tab. 3 Survival rate, HSI and CF in *L. vannamei* of different treatments

盐度 salinity	饲料 diets	肝体指数 (%) HSI	肥满度 (%) CF	成活率 (%) survival rate
LS	CP20	3.768 ± 0.608 <sup>a</sup>	0.471 ± 0.023 <sup>a</sup>	68.333 ± 3.819 <sup>a</sup>
	CP30	4.686 ± 1.438 <sup>b</sup>	0.479 ± 0.040 <sup>a</sup>	70.833 ± 6.292 <sup>a</sup>
	CP40	5.565 ± 0.865 <sup>b</sup>	0.518 ± 0.033 <sup>bcd</sup>	71.667 ± 6.292 <sup>a</sup>
	CP50	4.958 ± 0.644 <sup>b</sup>	0.510 ± 0.031 <sup>abcd</sup>	72.500 ± 6.614 <sup>a</sup>
MS	CP20	4.575 ± 0.764 <sup>b</sup>	0.497 ± 0.057 <sup>ab</sup>	85.000 ± 7.500 <sup>b</sup>
	CP30	5.079 ± 0.521 <sup>b</sup>	0.520 ± 0.024 <sup>bcd</sup>	93.333 ± 3.819 <sup>b</sup>
	CP40	5.112 ± 0.707 <sup>b</sup>	0.540 ± 0.032 <sup>cd</sup>	92.500 ± 5.000 <sup>b</sup>
	CP50	4.900 ± 0.825 <sup>b</sup>	0.540 ± 0.017 <sup>cd</sup>	94.167 ± 3.819 <sup>b</sup>
HS	CP20	4.849 ± 0.768 <sup>b</sup>	0.494 ± 0.017 <sup>ab</sup>	84.167 ± 11.815 <sup>b</sup>
	CP30	5.019 ± 0.723 <sup>b</sup>	0.505 ± 0.051 <sup>abc</sup>	92.500 ± 6.614 <sup>b</sup>
	CP40	5.035 ± 0.600 <sup>b</sup>	0.541 ± 0.032 <sup>d</sup>	95.000 ± 5.000 <sup>b</sup>
	CP50	5.181 ± 0.781 <sup>b</sup>	0.517 ± 0.045 <sup>bcd</sup>	93.333 ± 7.638 <sup>b</sup>
影响因素 factors		双因素方差分析结果(P 值) P values of two-way ANOVA		
蛋白质 protein		0.000	0.001	0.072
盐度 salinity		0.301	0.000	0.000
蛋白质 × 盐度 protein × salinity		0.071	0.909	0.962

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异( $P < 0.05$ )

Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different ( $P < 0.05$ )

而后稍有下降。低盐度下凡纳滨对虾的成活率显著低于中、高盐度组( $P < 0.05$ ),而中、高两盐度组对虾的成活率差异不显著( $P > 0.05$ )。双因素方差分析结果显示,饲料蛋白质含量和盐度对凡纳滨对虾肥满度和成活率无交互作用,对肝体指数影响不显著( $P = 0.071$ )。

**2.2 饵料蛋白质含量对不同盐度下凡纳滨对虾体成份的影响** 表 4 显示了不同处理组凡纳滨对虾体生化成份的变化。可以看出,饲料蛋白质含量和盐度对凡纳滨对虾的体水分和粗脂肪含量的影响均不显著( $P > 0.05$ ),但两者对对虾体粗蛋白和灰分的影响有所不同。饲料蛋

白质含量显著影响对虾体粗蛋白含量( $P < 0.01$ ),呈随饲料蛋白质含量升高而逐渐升高的趋势,而盐度对对虾体粗蛋白含量影响不显著( $P > 0.05$ ),各试验组对虾的体粗脂肪含量无显著差异。而盐度则显著影响凡纳滨对虾体灰分含量( $P < 0.01$ ),总的来说,低盐度下对虾灰分含量平均最低,显著低于中、高盐度组( $P < 0.05$ )。双因素方差分析结果显示,饲料蛋白质含量和盐度对凡纳滨对虾体水分、粗蛋白和粗脂肪无显著交互作用( $P > 0.05$ ),而对对虾体灰分的交互作用显著( $P < 0.05$ )。

表 4 不同处理组凡纳滨对虾的体生化成份含量  
Tab. 4 Body compositions in *L. vannamei* of different treatments

盐度 salinity	饲料 diets	水分(%) moisture	粗蛋白(%) crude protein	粗脂肪(%) crude lipid	灰分(%) ash	
LS	CP20	78.515 ± 6.177 <sup>ab</sup>	11.181 ± 1.020 <sup>a</sup>	2.959 ± 0.716	2.646 ± 0.077 <sup>ab</sup>	
	CP30	78.108 ± 1.606 <sup>ab</sup>	12.669 ± 1.335 <sup>abc</sup>	2.770 ± 0.612	2.450 ± 0.500 <sup>a</sup>	
	CP40	78.033 ± 4.281 <sup>ab</sup>	12.749 ± 1.228 <sup>abc</sup>	2.805 ± 0.218	2.888 ± 0.097 <sup>abc</sup>	
	CP50	77.447 ± 2.428 <sup>ab</sup>	13.182 ± 0.851 <sup>abc</sup>	2.692 ± 0.240	2.919 ± 0.134 <sup>abc</sup>	
MS	CP20	75.651 ± 4.724 <sup>ab</sup>	11.594 ± 0.732 <sup>ab</sup>	2.804 ± 0.366	3.308 ± 0.285 <sup>bc</sup>	
	CP30	77.343 ± 3.754 <sup>ab</sup>	13.693 ± 1.578 <sup>bc</sup>	2.454 ± 0.480	4.043 ± 0.297 <sup>d</sup>	
	CP40	76.476 ± 2.281 <sup>ab</sup>	12.783 ± 1.180 <sup>abc</sup>	2.830 ± 0.153	2.846 ± 0.318 <sup>abc</sup>	
	CP50	75.713 ± 1.751 <sup>ab</sup>	13.775 ± 0.205 <sup>bc</sup>	2.784 ± 0.249	2.963 ± 0.164 <sup>abc</sup>	
HS	CP20	75.184 ± 2.859 <sup>a</sup>	11.545 ± 1.758 <sup>ab</sup>	2.791 ± 0.038	3.129 ± 0.072 <sup>abc</sup>	
	CP30	75.785 ± 2.220 <sup>ab</sup>	13.416 ± 0.543 <sup>abc</sup>	2.501 ± 0.863	3.023 ± 0.089 <sup>abc</sup>	
	CP40	79.469 ± 3.435 <sup>b</sup>	14.039 ± 0.947 <sup>c</sup>	2.633 ± 0.349	3.430 ± 0.823 <sup>cd</sup>	
	CP50	79.182 ± 3.584 <sup>ab</sup>	14.109 ± 1.641 <sup>c</sup>	2.770 ± 0.363	2.679 ± 0.785 <sup>abc</sup>	
影响因素 factors		双因素方差分析结果(P值) P values of two-way ANOVA				
蛋白质 protein			0.472	0.002	0.631	0.416
盐度 salinity			0.123	0.235	0.766	0.007
蛋白质×盐度 protein×salinity			0.156	0.940	0.984	0.010

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异( $P < 0.05$ )

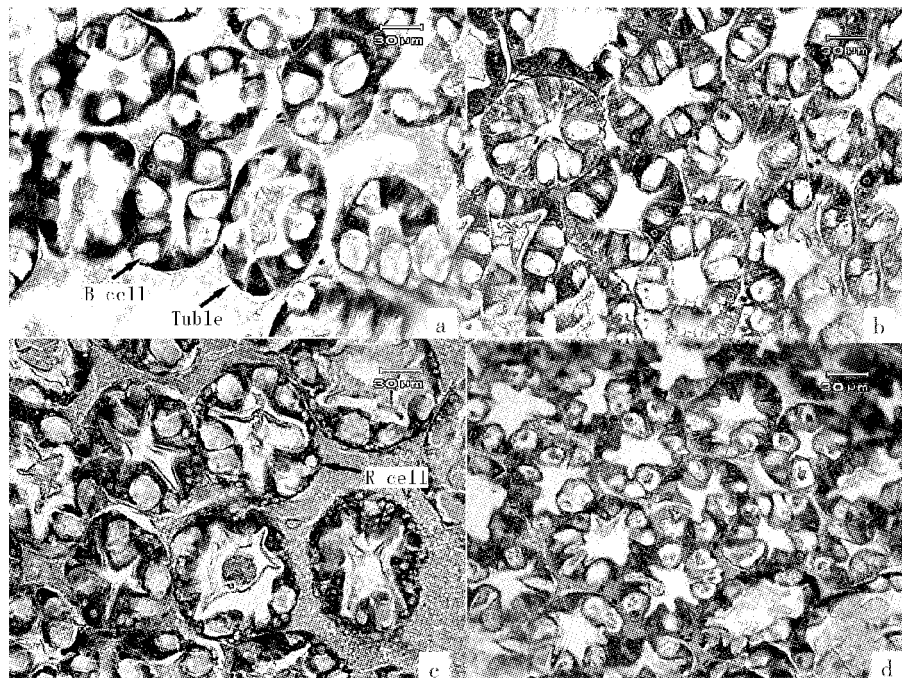
Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different ( $P < 0.05$ )

**2.3 饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾肝组织学结构的影响** 图版显示了不同饵料蛋白质含量投喂后中盐度下凡纳滨对虾肝胰腺的组织学结构变化。可以看出,投喂 CP30 和 CP40 饲料的凡纳滨对虾肝胰腺结构相对正常,肝小体基膜完整,且含有大量的存储细胞(R 细胞)。相比之下,投喂 CP20 组凡纳滨对虾肝胰腺的部分肝小体基膜破损,分泌细胞(B 细胞)体积稍变大,且

R 细胞数量颇少。而投喂 CP50 组凡纳滨对虾肝胰腺的肝小体相对变小,排列非常紧凑,且 B 细胞内存在大量的内容物质。

### 3 讨论

本研究表明,不同盐度下凡纳滨对虾均随饵料蛋白质含量升高而表现出较好的生长趋势,总的来说,与其他试验组相比,投喂 CP20 组的凡纳



图版 中盐度下不同蛋白质含量饲料投喂凡纳滨对虾肝胰脏的组织学结构

Plate Hepatopancreas histological structure of *L. vannamei* fed with different levels of protein at medium salinity

a. 示投喂蛋白质含量为 20% 的饲料的凡纳滨对虾肝胰脏组织学结构, 部分肝小体(Tubule)基膜破损, R 细胞数量很少; b. 示投喂蛋白质含量为 30% 的饲料的凡纳滨对虾肝胰脏组织学结构, 肝小体排列整齐; c. 示投喂蛋白质含量为 30% 的饲料的凡纳滨对虾肝胰脏组织学结构, 出现大量 R 细胞; d. 示投喂蛋白质含量为 50% 的饲料的凡纳滨对虾肝胰脏组织学结构, 肝小体排列异常紧密, B 细胞内出现大量内容物质。

a. Photomicrographs of the hepatopancreas (HP) from *L. vannamei* fed with CP20. The basal membranes of many tubules were damaged, and there were less R cells. b. Photomicrographs of the hepatopancreas (HP) from juvenile *L. vannamei* fed with CP30. The structure of the tubules appears very normal with integrated basal membranes. c. Photomicrographs of the hepatopancreas (HP) from juvenile *L. vannamei* fed with CP40. There are many R cells in the tubules with integrated membranes. d. Photomicrographs of the hepatopancreas (HP) from juvenile *L. vannamei* fed with CP50. Tubules arranged very tightly, and many unknown materials existed in the R cells.

滨对虾的生长情况和成活率均为最低, 说明饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾生长成活起着至关重要的作用, 足量的蛋白质不仅能保障凡纳滨对虾正常生存, 还可以使其获得尽可能大的生长速度, 而过低的饲料蛋白质含量则会导致对虾生长缓慢, 成活率下降。此外, 通过对投喂不同蛋白质含量饲料的凡纳滨对虾肝胰脏的组织学观察, 亦发现投喂 CP20 的虾肝胰脏表现出一些不适应的特征, 尤其是有部分肝小体的基膜不完整甚至发生损坏, 这一发现进一步印证了饲料蛋白质对凡纳滨对虾的生长和发育都有重要作用, 且可以推断饲料蛋白质含量为 20% 不能满足凡纳滨对虾机体的正常更新和修复, 并会导致对虾产生一

定程度的病理变化, 从而影响凡纳滨对虾的正常生长和成活率。关于凡纳滨对虾对饵料蛋白质营养需求的研究最早见于 Colvin 和 Brand<sup>[8]</sup> 的报道, 他们认为凡纳滨对虾的饵料蛋白质营养需求要在 30%~35% 之间, Smith 等<sup>[9]</sup> 的研究却认为凡纳滨对虾幼体在海水中蛋白质需求量应大于 36%。此外, Kureshy 和 Davis<sup>[10]</sup> 的研究发现凡纳滨对虾获得最大生长时饵料蛋白质含量为 32%。近年来, 国内的很多学者也对凡纳滨对虾的最适饵料蛋白质需求进行了大量的研究。黄凯等<sup>[5]</sup> 研究认为盐度为 2 时, 对虾的最适需求量为 26.7%, 而盐度为 28 时, 对虾的最适需求量为 33.0%。而刘栋辉等<sup>[6]</sup> 却认为极低盐度下(1~

3) 凡纳滨对虾的适宜饲料蛋白质含量为 40%, 低于 30% 时会引起对虾一定的生理病变。此外, 刘立鹤等<sup>[11]</sup>在综合考虑饲料成本、蛋白质转化率等因素后, 认为凡纳滨对虾饲料生产中的粗蛋白含量为 36% 为宜。从本试验的结果来看, 除投喂 CP20 的对虾组生长情况不理想外, 其它组均获得了较好的生长和成活率, 且投喂 CP30 和 CP40 的对虾组的肝小体的组织结构表现正常。投喂 CP40 组对虾肝小体内出现了大量的用于存储营养物质的存储细胞, 而投喂 CP50 的对虾组的肝小体却排列异常紧凑, 推测可能与饲料蛋白质含量过高有关, 但这对机体的生理机能有何影响, 尚需进一步探讨。综合本试验的结果和以往学者的研究报道, 可以得出凡纳滨对虾饵料蛋白质含量应该在 30%~40%, 过高或者过低, 都会引起对虾在生理上一定程度不适应。而以往有关凡纳滨对虾最适饵料蛋白质需求研究结果的差异, 可能与实际的养殖条件和环境及所使用的饵料配比有关。

环境盐度是影响水生动物生理状态的主要环境因子之一, 包括机体新陈代谢、生长、营养需求等<sup>[12]</sup>。凡纳滨对虾正常的生活史均有出现在海洋及河口环境当中的阶段, 其对盐度的反应随生理状况变化而变化<sup>[3]</sup>。以往有关盐度对凡纳滨对虾影响的研究主要集中在两个方面。一方面是关于凡纳滨对虾最适盐度的研究, 但结果却不尽相同, 范围分布在 5~27, Huang 等<sup>[13]</sup>报道了凡纳滨对虾的最适生长盐度为 20 左右, 继其之后, Bartlett 等<sup>[14]</sup>和 Ponce-Palafox 等<sup>[15]</sup>均发现当环境盐度为 30~45 之间时, 生长速度不会显著降低。此外, Bray 等的研究却发现, 当盐度为 5 和 15 时, 对虾的生长速度都优于其它盐度组<sup>[16]</sup>。但总的来看, 一般认为, 凡纳滨对虾的最适盐度在 20 左右<sup>[17]</sup>。本研究的结果表明, 中盐度组对虾的各生长指标均优于投喂相同蛋白饵料的处理组, 这一结果再次印证了凡纳滨对虾生长的最适宜的盐度在 20 左右。另一方面是关于凡纳滨对虾对盐度变化的生理反应及不同盐度下凡纳滨对虾的营养利用情况。如部分研究试图通过添加卵磷脂和甜菜碱等营养素来提高凡纳滨对虾在低盐度养殖时的生长速度和成活率, 尽管在饵料中通过增添营养素以促进生长的办法在其它的养殖种类时常奏效, 但这些方法均未

见明显成效<sup>[18-19]</sup>。虾类以饲料蛋白质作为氨基酸的来源, 用于调节体内渗透压及体组织生长<sup>[3]</sup>, 因此加强不同盐度下凡纳滨对虾饵料蛋白质营养生理的研究非常必要。本研究采用双因素方差分析方法, 分析了饵料蛋白质含量、盐度对凡纳滨对虾生长、成活和体生化成份的影响, 及两者的交互作用。结果表明, 盐度和饵料蛋白质含量均是显著影响对虾生长的主要因素。而对于对虾的成活率, 低盐度组对虾成活率显著低于其它两盐度处理组, 饵料蛋白水平对各盐度下对虾成活率影响不显著, 说明虽然可以通过提高饵料蛋白质含量来提高各盐度下凡纳滨对虾的生长速度和体蛋白质含量, 但在低盐度下, 并不能提高凡纳滨对虾的成活率。类似的研究见于王兴强等<sup>[7]</sup>的研究, 其发现随蛋白质含量的提高, 凡纳滨对虾存活率呈下降趋势。虽然本研究中关于成活率的研究结果与其不完全相同, 但在一定程度上也说明了提高饵料蛋白质含量在改善对虾成活率方面的效果不佳, 作者推测可能与饵料蛋白质中的利用效率有关, 但是否如此尚需进一步研究。

肝胰腺是甲壳动物的最大的消化器官, 已有研究表明, 由于无脊椎动物肝胰腺(或称中肠腺)的特殊生理功能, 能反映机体的营养状态, 对于该器官的组织学研究, 可以为在以生长和成活率为指标研究机体营养状态的基础上, 提供有力的印证和支持<sup>[20-21]</sup>。凡纳滨对虾和其它甲壳动物一样, 其肝胰腺也是由若干个肝小体组成, 肝小体可以被认为是对虾肝行使其消化吸收功能及其结构基本单位。肝小体主要由基膜、细胞层和肝小管三部分组成, 细胞层中常见的 4 种细胞, 即胚细胞(E 细胞)、分泌细胞(B 细胞)、存储细胞(R 细胞)和纤维细胞(F 细胞)。本研究发现, 饵料蛋白质含量显著的影响了肝小体的组织学结构, 投喂低蛋白饵料(CP20)的对虾的部分肝小体的基膜发生了破损, 且分泌细胞数量较多、体积较大, 当饵料蛋白质含量升高到 CP30 时, 对虾肝小体组织学结构开始正常化, 基膜完整, 而升高至 CP40 后, 肝小体出现大量的 R 细胞, 而高蛋白饵料(CP50)则导致了对虾肝小体结构稍微异常。本研究还发现, 饵料蛋白质含量对肝体指数有显著影响, 总的来看, 肝体指数随着饵料蛋白质含量升高而升高, 但投喂 CP50 对虾的肝体指

数稍有下降。综合两者来看,再次印证了饵料中蛋白含量过高或过低均会对对虾形成一定的不良影响,建议凡纳滨对虾饵料蛋白质的添加量为30%~40%。

#### 参考文献:

- [1] McGraw W J, Davis D A, Teichert-Coddington D. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: influence of age, salinity, endpoint and rate of salinity reduction [J]. J World Aqua Soc, 2002, 33: 78-84.
- [2] Saoud I P, Davis D A, Rouse D B. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture [J]. Aquaculture, 2003, 217: 373-383.
- [3] Cuzon G, Lawrence A, Gaxiola G, et al. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds [J]. Aquaculture, 2004, 234: 513-551.
- [4] Marangos C, Brogren C H, Alliot E, et al. The influence of water salinity on the free amino acid concentration in muscle and hepatopancreas of adult shrimps, *Penaeus japonicus* [J]. Biochem Syst Ecol, 1989, 17: 589-594.
- [5] 黄凯,王武,卢洁,等.盐度对凡纳滨对虾的生长及生化成分的影响[J].海洋科学, 2004, 28(9): 20-25.
- [6] 刘栋辉,何建国,刘永坚,等.极低盐度下饲料蛋白质量分数对凡纳对虾生长表现和免疫状况的影响[J].中山大学学报, 2005, 44(增刊)2: 217-223.
- [7] 王兴强,马 甦,董双林.盐度和蛋白质水平对凡纳滨对虾存活、生长和能量转换的影响[J].中国海洋大学学报, 2005, 35(1): 33-37.
- [8] Colvin L V, Brand C W. The protein requirement of penaeid shrimp at various life cycle stages in controlled environment system [C]// Proceed WMS, vol. 8. LSU, Baton Rouge, Louisiana, 821-840.
- [9] Smith L L, Lee P G, Lawrence A L, et al. Growth and digestibility of three sizes of *Penaeus vannamei* Boone; effects of dietary protein level and protein source [J]. Aquaculture, 1985, 46: 85-96.
- [10] Kureshy N, Davis D A. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2002, 204: 125-143.
- [11] 刘立鹤,郑石轩,郑献昌,等.南美白对虾最适蛋白需要量及饲料蛋白水平对体组分的影响[J].水利渔业, 2003, 23(2): 11-13.
- [12] Kinne O. Salinity: Animal invertebrates [M]// Kinne, O, (Ed.). Marine Ecology Vol I. Environmental Factors. Wiley Interscience, London, 1971: 821-995.
- [13] Huang H J. Factors affecting the successful culture of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei* at an estuarine power plant site: temperature, salinity, inherent growth variability, damselfly nymph predation, population density and distribution, and polyculture [D]. PhD dissertation. Texas A&M University, College Station, TX, USA, 221.
- [14] Bartlett P, Bonilla P, Quiros L, et al. Effects of high salinity on the survival and growth of juvenile *Penaeus vannamei*, *P. stylirostris*, and *P. monodon* [C]// Abstracts, World Aquaculture. National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada, 1990, 90: 121.
- [15] Ponce-Palafox J, Carlos A, Palacios M, et al. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931 [J]. Aquaculture, 1997, 157: 107-115.
- [16] Bray W A, Lawrence A L, Leung-Trujillo J R. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity [J]. Aquaculture, 1994, 122: 133-146.
- [17] Li E C, Chen L Q, Zeng C, et al. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities [J]. Aquaculture, 2007, 265: 385-390.
- [18] Roy L A, Davis D A, Saoud I P. Effects of lecithin and cholesterol supplementation to practical diets for *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity waters [J]. Aquaculture, 2006, 257: 446-452.
- [19] Saoud I P, Davis D A. Effects of betaine supplementation to feeds of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared at extreme salinities [J]. N Am J Aquacult, 2005, 67: 351-353.
- [20] Gimenez A V F, Fenucci J L, Petriella A M. The effect of vitamin E on growth, survival and hepatopancreas structure of the Argentine red shrimp *Pleoticus muelleri* Bate (Crustacea, Penaeidea) [J]. Aquac Res, 2004, 35: 1172-1178.
- [21] Reddy H R V, Ganapathi Naik M, Annappaswamy T S. Evaluation of the dietary essentiality of vitamins for *Penaeus monodon* [J]. Aquacult Nutr, 1999, 5: 267-275.



**Effects of dietary protein levels on growth, survival, body composition and hepatopancreas histological structure of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different ambient salinities**

LI Er-chao<sup>1</sup>, CHEN Li-qiao<sup>1</sup>, ZENG Ceng<sup>2</sup>, XIONG Ze-quan<sup>1</sup>,  
LIN Chen<sup>2</sup>, SUN Xin-jin<sup>1</sup>, WANG Yong-qiang<sup>2</sup>, HOU Li-sen<sup>3</sup>

(1. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Aquaculture Department, School of Marine Science, Hainan University, Haikou 570228, China;

3. Zhongke Tropical Marine Research and Development Center, Haikou 570206, China)

**Abstract:** An 8-week trial was conducted to investigate the effects of dietary protein levels which were 20.61, 30.52, 40.43 and 50.34% (named CP20, CP30, CP40 and CP50 respectively) on the growth, survival, body composition of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at three ambient salinities which were 2, 22 and 32 respectively. The results showed that ambient salinity had significant effects on shrimp growth, survival, conditional factor (CF) and body ash, while no significant differences were observed in the hepatosomatic index (HSI), body crude protein, lipid and moisture. Shrimps at 22 were the highest in all the parameters followed by these at 32 and 2. Weight gain, specific growth rate for both weight and body length of shrimps at 32 and 22 were significantly higher than those at 2, while no differences were found in shrimps at 32 and 22. Dietary protein levels only significantly affected the growth performance, body crude protein, CF and HSI of the shrimps. Weight gain and the body crude protein content of shrimps increased with the increasing of dietary protein level, and shrimps fed with CP20 showed significant lower growth performance and body crude protein. CF and HSI increased with the dietary protein levels increasing to CP40 firstly, and then decreased slightly when fed with CP50. Dietary protein levels had no effect on the survival shrimp at all the ambient salinities. Ambient salinity and dietary protein level only had significant interaction on the body ash content, while no significant interaction effects were observed in other parameters. Tubules of shrimp fed with CP30 and CP40 had the normal structure, though CP40 increased the number of R cells. Tubules of shrimps fed with CP20 had relatively fewer R cells and arranged incompactly. And the basal membranes of partial tubules were in disrepair. While tubules of shrimps fed with CP50 compactly arranged with much ambiguous materials in B cells. The results indicated that though the growth performance and conditional factor could be increased by increasing dietary protein level, low survival rate at low salinity did not enhance. And improper content of dietary protein, especially extremely lower dietary protein, would result in pathological changes of the hepatopancreas' histological structure.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; protein; salinity; growth; survival; body composition; histological structure