

文章编号: 1004 - 7271(2008)01 - 0052 - 06

水流对凡纳滨对虾幼虾生长和存活的影响

戴习林, 臧维玲, 张 韬

(上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:研究了水流及水平流速对凡纳滨对虾幼虾生长存活的影响, 试验结果表明: 水流及其流速、流向是影响凡纳滨对虾幼虾生长存活的重要环境因子。静水环境不利于对虾的增长、增重和存活, 易加大对虾个体间体长规格的差异; 水平水流与曝气垂直水流均具有促进对虾生长和存活的作用, 特别是水平水流环境更有利于养殖对虾的生长、规格整齐和存活, 同时在 0.63 ~ 2.78 mm/s 流速范围内, 对虾的生长随着水平水流的流速增大而加快, 规格越整齐; *F* 检验表明, 分别在静水、水平水流、曝气垂直水流环境中生长的对虾体长、体重增长量与成活率间存在显著差异; 2.78 mm/s 流速的水平水流是 1 ~ 3 cm 体长对虾最佳生长生存水流。

关键词: 凡纳滨对虾; 水流; 生长; 存活

中图分类号: S 917; S 966.1 文献标识码: A

The effects of water current on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles

DAI Xi-lin, ZANG Wei-ling, ZHANG Tao

(Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: The effects of water current and velocity of horizontal flow on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles were studied. The results indicated: The water current, direction of flow and velocity of horizontal flow were the most important environmental factors of affecting growth and survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles. The still water environment was unfavorable to life and growth of juveniles, and easy to cause juvenile's body irregularity. Horizontal water current and aerated vertical water current promoted the growth and survival of the shrimp both. Especially, horizontal water current was very favorable to shrimp growth, shrimp body regularity and shrimp survival. In the 0.63 - 2.78 mm/s range of velocity of horizontal flow, with velocity of flow speeding up, the shrimp growth speed increased and the shrimp body became more regular. There were significant differences among the means of the increment of body length and weight and survival rate of *Litopenaeus vannamei* juvenile respectively living in calm water, horizontal water current and aerated vertical water current by *F*-test. 2.78 mm/s of velocity of horizontal flow was optimal growth and survival of 1 - 3 cm *Litopenaeus vannamei* juveniles.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; water current; growth; survival

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 又名南美白对虾, 具有生长快、抗病能力强、出肉率高 (可达

收稿日期: 2007-09-13

基金项目: 上海市科技登山行动计划重点攻关项目 [2006(063919112)]; 上海市重点学科建设项目 (Y1101)

作者简介: 戴习林 (1969 -), 男, 江苏泰兴人, 硕士, 副教授, 主要从事水产动物繁殖与发育生物学方面的研究。E-mail: xldai@shfu.edu.cn

67%)等优点^[1-3],近年来已成为我国主要的虾类养殖品种。我国学者较为广泛和细致地对该虾的生物学、生态学和养殖技术等方面作了研究,有较多关于光源、光谱、光照周期、盐度和水温等生态因子对该虾影响方面的研究报道^[3-9]。其中,游奎等^[4]报道了不同光源对凡纳滨对虾的生长具有明显影响,变温时对虾的摄食量高于恒温时,延长光照时间可提高幼体的日摄食量,促进幼体生长发育^[5-7]。但国内外关于水流对凡纳滨对虾生长存活影响的研究鲜见报道,而水流是影响对虾生长的一个重要生态因子,水流的变化既直接影响水中其它因子,如水流影响饵料的分布、溶解氧与三态氮等其他理化因子的含量与分布,也影响对虾能量消耗的多少与摄食节律的变化。上述变化因素最终将会影响对虾的生长,影响虾类养殖产量和经济效益。因此,开展水流对凡纳滨对虾生长存活的影响试验具有重要的研究价值和实际应用意义。特别在水产养殖业向集约化养殖发展的大趋势下,采用什么形状的养殖池、何种大小的水流模式及充气方式是对虾室内集约化养殖的一个重要因素。通过试验探索水流对凡纳滨对虾生长与存活的影响,可为对虾的室内外集约化养殖提供一定的科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与时间

本试验于2007年3月至5月在上海金山区上海申漕特种水产开发公司A2区6号车间进行。

1.2 试验用水与试验用虾

试验用水为经澄清消毒净化处理的当地河水与浓缩海水配置而成的半咸水。试验用凡纳滨对虾幼虾由上海申漕特种水产开发公司提供,来自海南,为已淡化至养殖水比重为1.004的凡纳滨对幼虾。试验前将体长为0.7 cm的5000尾试验虾置于卤虫卵孵化池中淡化暂养16 d,进行标粗。暂养池为2 m²卤虫孵化池,清洗干净后泼洒高锰酸钾溶液消毒,暂养用水为盐度1.008罗氏沼虾育苗用水,水温28℃。暂养期间每日分别在8:00、14:00和20:00投喂3次虾片(约占虾体重30%),不排污,连续充气,每5天换水约1/5。

1.3 试验容器

试验容器为蓝色长方形塑料箱(79 cm×57 cm×47 cm),按试验设计划分为三部分:进水区、出水区与养殖区(图1)。出水区宽约15 cm,采用热熔胶将50 cm×62 cm的60目长方形筛绢网垂直粘附在水槽壁上,与养殖区分隔开,上缘与水槽口平齐;进水区宽约15 cm,同样采用热熔胶将47 cm×57 cm长方形绿色多孔(5×11个,Φ=4 mm)薄玻璃纤维板垂直粘附在水槽壁上,与养殖区分隔开,上缘与水槽口平齐。

1.4 试验用泵

试验水泵为5种不同型号日生牌小型水泵,循环处理养殖区养殖水体产生试验所需要的大小不同的水流流速(表1)。

1.5 试验设计

设计7组试验研究水流对凡纳滨对虾生长存活的影响,其中V₁~V₅组为5种不同流速的水平水流组,水泵置于有筛绢网一侧的水槽底部(出水区),将水抽至有绿色玻璃纤维板的另一侧(进水区),再

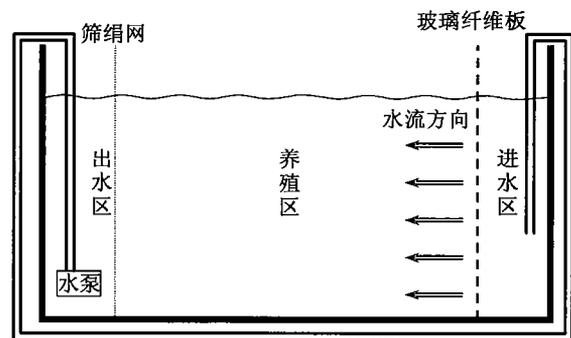


图1 试验水槽示意图

Fig. 1 The sketch map of test tanks

表1 试验用泵及各试验水槽流速

Tab. 1 The briefs of 5 kinds of water pump and velocity of flow in the tank

组别	型号	流量(L/h)	流速(mm/s)
V ₁	AT-106	4000	5.57
V ₂	AT-306	2000	2.78
V ₃	AT-305	1200	1.67
V ₄	AT-304	800	1.11
V ₅	AT-302	450	0.63

经塑料隔片上的小孔流入养殖区,以产生上下水层流速、流向基本一致的水平流(图1)。V₆为曝气组,即在水槽中央放置一只散气石曝气,以产生养殖区中央为上升四周下降的水流,简称为垂直水流。V₇为静水试验组,在试验水槽一侧用热熔胶将50 cm×62 cm的60目长方形筛绢网垂直固定在水槽壁上,与养殖区分隔开,内置一只散气石连续充气。

每个试验组均设4个重复,按随机区组分组方法安置在试验场地。从暂养池选取320尾体长基本一致的凡纳滨对虾幼虾,设一体长抽样测量组,按照单因素完全随机分组试验方法抽样投放幼虾至各试验组和体长抽样测量组中,每只水槽各10尾。测量体长抽样测量组中40尾对虾体长与体重分别为(0.944±0.037) cm、(0.007 3±0.000 4) g,以此作为试验虾的初始体长和体重。试验期间水温为(27±1)℃,盐度为10,水位35 cm,养殖试验20 d后测量体长体重。

1.6 日常管理

试验期间每日投喂“明辉”牌凡纳滨对虾0号凡纳滨对虾开口饲料2次,分别是8:00与18:00,日投喂量为虾体重的30%。每2天排污一次,每5天换同温同盐水5 cm,同时水箱上方用黑色塑料薄膜遮盖约2/3面积,以降低光线强度。每日观察幼虾的活动、摄食状况与分布状况,并作好记录。

试验前测量按完全随机试验设计方法选取的40尾凡纳滨对幼虾体长作为各组对虾初始平均体长,试验结束时测量各试验水槽内每尾存活虾试验虾体长。采用电子天平(0.01 g)称量已用滤纸吸干体表水分后的幼虾重量。

1.7 水化学指标测定方法

试验期间,定期测定养殖水体中的三态氮浓度、pH值。其中pH用pH B-4型酸度计测得、总氨氮(NH₃-N_T)采用萘式比色法、NO₂⁻-N采用重氮-偶氮比色法、NO₃⁻-N采用锌镉还原-重氮偶氮法^[10-11]。

1.8 数据处理

水平流试验组各试验水槽养殖区的水平流流速采用下式计算^[12],其中水流流量采用液体流量计测得。

$$\text{流速 } V(\text{mm/s}) = \frac{\text{流量}(\text{L/h})}{\text{水槽内宽}(\text{cm}) \times \text{水位}(\text{cm})} \times 2.778$$

试验结束后按下列公式分别计算凡纳滨对虾成活率、相对增长率、肥满度,并对相应数据采用单因素方差分析统计分析数据^[13]。

$$\text{相对增长率}(\%) = \frac{\text{试验末体长或体重}(\text{cm或g}) - \text{试验初体长或体重}(\text{cm或g})}{\text{试验末体长或体重}(\text{cm或g}) \times \text{试验天数}(\text{d})} \times 100$$

$$\text{肥满度}(\%) = \frac{\text{体重}(\text{g})}{\text{体长}^3(\text{cm}^3)} \times 100^{[14]}$$

2 结果与讨论

2.1 水流对试验水槽内水质状况的影响

试验中后期测定的2次各试验组平均水质指标列于表2,由表2可明显看出,流速、流向对池水中pH、三态氮含量和溶解氧含量影响较大。除V₆及V₇组因连续充气保证了池水中有充足的溶解氧外,各水平流试验组间流速不同直接影响池水的溶解氧含量,呈现随着流速的增大而逐步加大,当流速为0.63 mm/s时池水溶解氧含量为3.14 mg/L,当流速加大至5.57 mm/s时溶解氧量已增加42.7%达4.48 mg/L。再比较各试验组池水中的三态氮含量可知,最大水平流V₁组池水中的氨氮含量最大为1.076 mg/L,在水平流速在1.1~5.57 mm/s时水平流速越大池水中氨氮含量越高,在水平流速为0.63~5.57 mm/s时池水中亚硝基氮随水平流速减小而逐步增大,在水平流速为1.67~5.57 mm/s时池水中硝基氮含量则呈现随水平流速减小逐步增大,在水平流速为0.63~1.67 mm/s时池水中硝基氮含量差异较小。同时又发现V₆及V₇组池水中的硝基氮含量最高,各水平流试验组池水中pH值随流

速减小而减小,此可能与各试验水槽中流速流向有关。

表 2 试验期间各试验组水质状况
Tab.2 The water quality of the test tanks

组别	pH	NH ₃ -N _T (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	DO(mg/L)
V ₁	8.41	1.076	0.081	1.312	4.48
V ₂	8.28	0.424	0.225	1.586	4.55
V ₃	8.15	0.398	0.354	1.969	3.99
V ₄	8.01	0.117	0.354	1.851	3.82
V ₅	7.95	0.977	0.498	1.843	3.14
V ₆	8.58	0.305	0.316	2.046	6.51
V ₇	8.51	0.551	0.415	2.086	5.82
试验用水	8.56	0.316	0.028	1.656	4.77

2.2 水流对对虾生长的影响

各试验组水槽中对虾的体长与体重净增长量、肥满度与相对生长率试验结果列于表 3 和图 2。

表 3 各试验组试验结果
Tab.3 The test results of the treatment groups

组别	体长			成活率 (%)	体重		肥满度
	增长量(cm)	相对生长率(%)	变异系数		增加量(g)	变异系数	
V ₁	1.70 ± 0.04 ^{Bb}	8.98 ± 0.20	2.18	80 ^{ABab}	0.068 ± 0.0068 ^{BCe}	8.53	0.408 ± 0.017
V ₂	1.83 ± 0.03 ^{Aa}	9.71 ± 0.15	1.50	85 ^{Aa}	0.105 ± 0.010 ^{Aa}	9.10	0.525 ± 0.038
V ₃	1.69 ± 0.05 ^{Bb}	8.94 ± 0.32	3.15	78 ^{ABab}	0.070 ± 0.005 ^{Bbe}	7.12	0.426 ± 0.032
V ₄	1.59 ± 0.06 ^{BCe}	8.42 ± 0.32	3.81	70 ^{Bb}	0.053 ± 0.008 ^{Cd}	15.49	0.370 ± 0.066
V ₅	1.54 ± 0.05 ^{Ced}	8.13 ± 0.26	3.21	73 ^{Bb}	0.048 ± 0.006 ^{Cd}	12.10	0.363 ± 0.055
V ₆	1.49 ± 0.11 ^{Cd}	7.91 ± 0.59	7.43	78 ^{ABab}	0.080 ± 0.005 ^{Bb}	6.23	0.611 ± 0.098
V ₇	0.91 ± 0.02 ^{De}	4.79 ± 0.11	2.30	60 ^{Ce}	0.033 ± 0.008 ^{De}	24.97	0.634 ± 0.135

注:大写字母为 $\alpha=0.01$ 的方差分析结果,小写字母为 $\alpha=0.05$ 的方差分析结果,有相同字母的平均数为差异不显著,无相同字母的平均数为差异显著

由表 3 和图 2 可见,同一试验组对虾的生长状况基本相同,标准差均较小,最大是 V₆ 充气组仅 0.11,变异系数 C·V 也仅为 7.43%,但各试验组间对虾的生长状况存在较大的不同。20 d 试验期间各组对虾净增长值为 0.93 ~ 1.81 cm,其中水平水流各试验组对虾体长增长值从流速为 0.63 mm/s V₅ 组的 1.54 cm 增加到流速为 2.78 mm/s V₂ 组的 1.83 cm,当流速增加至 5.57 mm/s V₁ 组体长增长量却为 1.70 mm/s,并未继续增加,而是呈下降趋势,同时相对生长率也呈现同样的规律,由 8.13% 上升至 9.71%,再下降为 8.98%。而充气 V₆ 组对虾体长净增长量 1.4 cm 略低于流速为 0.63 mm/s V₅ 组的 1.54 cm,但 V₇ 静水试验组,虽然池水中 5.82 mg/L 溶解氧量高于 V₅ 组的 3.14 mg/L,但对虾体长净增长量 0.91 cm 是所有试验组中最低的,仅为 V₅ 组的 59%。

对各试验组的对虾体长净增长量进行方差分析 ($F=105.8, P>0.05$),结果列于表 3,结果表明,流速为 2.78 mm/s V₂ 组对虾体长增长值与其余各试验组对虾生长增长值间存在极显著差异,流速为 1.67 mm/s V₃ 组对虾生长与 V₁ 间不存在差异,但与 V₄ 存在显著差异,与 V₅、V₆、V₇ 组存在极显著差异,V₅ 组与 V₆ 组间不存在差异但均与 V₇ 组存在极显著差异,静水 V₇ 组与所有试验组均存在极显著差

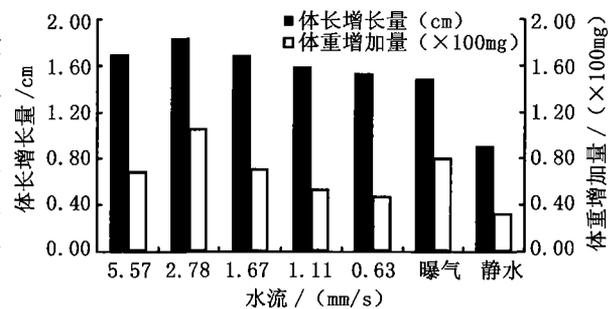


图 2 各试验组对虾体长体重增长值

Fig.2 The increment of shrimps body length and weight

异。由此可认为水流的流速和流向均是促进对虾生长的重要环境因子,静水不利于对虾体长的增长,水平流比垂直曝气更有利于促进对虾体长增长;在0.63~2.78 mm/s 流速范围内,对虾的体长增长值随着水平流速的增大而增大。此可能与对虾长期在沿岸水域生活和底栖,在适应每日两次潮汐过程中,形成了对水平流的适应有关^[14-15]。因此在虾类养殖生产中,开启水泵或增氧机,除了改善水质、增加水体溶解氧量作用外,可能还有促进对虾生长的功效,故建议在对虾养殖生产中应增加增氧机开启时间,以促进对虾生长。

水流对对虾增重的影响与对虾生长的影响效果基本相似(表3和图2),也是各试验组间对虾的生长存在较大的不同。水平流各试验组对虾体重增重从流速为0.63 mm/s V_5 组的0.048 g 增加到流速为2.78 mm/s V_2 组的0.105 g,当流速增加至5.57 mm/s V_1 组时却为0.068 g,并未继续增加,而是呈下降趋势。但充气 V_6 组对虾增重0.080 g,仅低于流速为2.78 mm/s V_2 组的0.105 g,而静水 V_7 试验组的对虾增重值为0.033 g,是所有试验组中最低的。方差分析结果表明,流速为2.78 mm/s V_2 组对虾增重值与其余各试验组对虾体重增加值间存在极显著差异,充气 V_6 组除与 V_1 、 V_3 组不存在差异及仅次于 V_2 组外,均显著优于其它各组,流速为1.11 mm/s 与0.63 mm/s 组间不存在差异,静水 V_7 组与所有试验组均存在极显著差异。由此再次说明水流的流速和流向均是促进对虾增重的重要环境因子,静水不利于对虾的增重,在0.63~2.78 mm/s 的流速范围内,对虾的增重是随着水平流速的增大而增大。

2.3 水流对对虾规格整齐度的影响

比较表3中的变异系数 $C \cdot V$,绘制各试验组体长与体重增长量的变异系数 $C \cdot V$ 柱形图(图3)。可看出水流也影响对虾生长速率的一致性即个体差异,数据表明曝气 V_6 组的体长 $C \cdot V$ 最大为7.43,是流速为2.78 mm/s V_2 组1.50的5倍,净水 V_7 组的体重 $C \cdot V$ 最大为24.97,是曝气 V_6 组6.23的4倍,水平流各组间体长的 $C \cdot V$ 与体重的 $C \cdot V$ 呈现与体长增长、体重增重基本相同的规律。同时由表2知曝气 V_6 组与净水 V_7 组池水中溶解氧大于5 mg/L,因此可认为影响曝气 V_6 组与净水 V_7 组对虾体重 $C \cdot V$ 的原因是水流而非溶解氧量。另外曝气组对虾体重的 $C \cdot V$ 虽是各组中最小的,但体长的 $C \cdot V$ 却是各组中最大的。由此可见,水流可能不仅影响对虾的生长增重,而且还影响对虾的个体差异与规格整齐度。在1.11~2.78 mm/s 水平流速范围内,对虾的体长整齐度随着水平流速的增大而增大,垂直曝气比水平流更利于对虾的体重规格的一致,静水极容易造成对虾个体体重差异大,规格不整齐。综合考虑对虾体长、体重的 $C \cdot V$ 和肥满度,可认为在本次试验条件下,2.78 mm/s 的水平流最有利于促进对虾体长、体重的一致和规格整齐度。

2.4 水流对对虾存活的影响

由表3可知,试验结束时各个试验组水箱内凡纳滨对虾幼体存活率仍是流速为2.78 mm/s V_2 组的85%最高,呈现静水组成活率最低,仅为60%,经方差分析($F = 105.8, P > 0.05$)得知,静水 V_7 组的成活率与其余试验组间均存在极显著差异, V_2 组与 V_1 、 V_3 、 V_6 组间不存在差异,而与 V_4 、 V_5 组存在显著差异,此外 V_4 、 V_5 组除与 V_7 、 V_2 组外,与其余组不存在差异,可见水流也是影响对虾存活的重要环境因子,合适的水平流比垂直曝气更利于对虾存活,在此次试验流速范围内,2.78 mm/s 的水平流速是对虾最佳存活流速。

2.5 对虾行为观察

在试验期间观察到饲料在水箱中央投下后,逐渐沉入箱底,下降过程中流速较小的水箱饲料受到水

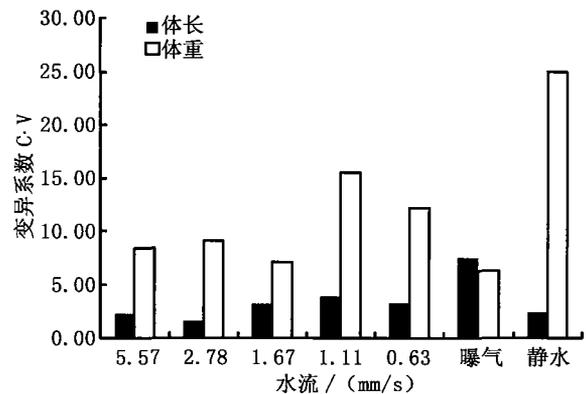


图3 各试验组体长与体重增长量的变异系数 $C \cdot V$
Fig. 3 $C \cdot V$ of increment of shrimps body length and weight

流影响较小,沉降在水箱的中央近出水区一侧,而流速较大时,饲料大都分布在出水区的筛绢网一侧。饲料投下后凡纳滨对虾幼虾均能主动摄食,摄食状况良好。静水试验组中幼虾大部分时间活动均集中在箱底,充气试验组则经常附着在垂直的箱壁上,而各水平流试验组中,主要附着在出水区的筛绢网上和箱底,进水侧基本很少甚至没有。从幼虾的活力表现来看,静水试验组中的幼虾较差,当敲击箱体时,幼虾反应较慢,极少跳跃逃散,而其他试验组中幼虾则反应敏捷,在敲击箱体时,立即四散逃开。可见水流直接和间接地影响对虾的分布,此与 Dall 等^[15]的观点一致,说明水流是对虾生存、生长的重要环境因子。

3 结语

(1)水流的流速和流向均是对虾生长的重要环境因子,静水不利于对虾的增长和增重,水平水流与垂直曝气均具有促进对虾生长作用,特别是水平水流环境更有利于养殖对虾的生长,同时在 0.63 ~ 2.78 mm/s 流速范围内,对虾的生长随着水平水流的流速增大而加快, F 检验表明分别在静水、水平水流、垂直水流环境中生长的对虾体长、体重增长量间存在显著差异;当流速为 2.78 mm/s 时 1 ~ 3 cm 体长对虾生长速率与体重增重量最大。

(2)水流影响对虾的个体差异与规格整齐度,水平流比垂直曝气更有利于促进对虾体长规格的一致,在 1.11 ~ 2.78 mm/s 流速范围内,对虾的体长整齐度随着水平流速的增大而增大,但曝气垂直流比水平流更利于对虾的体重规格的一致,静水极易造成对虾个体差异大,规格不整齐。试验表明 2.78 mm/s 水平流速是 1 ~ 3 cm 体长对虾规格整齐的最佳水流。

(3)水流是影响对虾存活的重要环境因子,2.78 ~ 5.57 mm/s 水平流比曝气垂直流更适宜对虾存活,在此次试验流速范围内,2.78 mm/s 的水平流速是 1 ~ 3 cm 体长对虾最佳存活流速。

(4)水流及其流速流向影响对虾养殖水体水质,水平流速越大,溶解氧量越大。

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, 14(3): 69 - 73.
- [2] 宋盛亮, 郑石轩. 南美白对虾健康养殖[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 1 - 35.
- [3] 陈琴, 陈晓汉, 谢达祥, 等. 不同盐度养殖的南美白对虾含肉率及其肌肉营养成分[J]. 海洋科学, 2001, 25(8): 16 - 18.
- [4] 游奎, 刘鹰, 杨红生, 等. 不同光源及光照时间对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 1 - 5.
- [5] 沈文英, 胡洪国, 潘雅娟. 温度和 pH 值对南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(6): 543 - 548.
- [6] 王吉桥, 罗鸣, 张德治, 等. 水温和盐度对南美白对虾幼虾能量收支的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 161 - 166.
- [7] 水柏年. 南美白对虾 (*Penaeus vannamei* Boone) 虾苗对若干环境因子适应性研究[J]. 现代渔业信息, 2004, 19(12): 9 - 14.
- [8] 罗杰, 刘楚吾, 杜涛, 等. 不同饲料对凡纳滨对虾幼体生长与发育的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(1): 11 - 14.
- [9] 周歧存, 郑石轩, 叶应旺, 等. 投饵水平对凡纳滨对虾生长、饲料利用和虾体主要成分的影响[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 65 - 68.
- [10] 陈佳荣. 水化学试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 5 - 30.
- [11] 雷衍之. 养殖环境水化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 45 - 78.
- [12] 高廷耀, 顾国维. 水污染控制工程(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 30 - 50.
- [13] 蔡一林, 岳永生. 水产生物统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 81 - 95.
- [14] 王克行. 虾蟹类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 31.
- [15] Dall W, Hill B J, Rothsberg P C, et al. 陈楠生, 李新正, 刘恒, 等译. 对虾生物学[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992: 358 - 379.