

盐度对凡纳滨对虾生长和氮磷收支的影响

侯文杰¹, 臧维玲¹, 戴习林^{1*}, 刘永士¹, 张煜¹, 丁福江², 杨明²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海申漕特种水产开发公司, 上海 201516)

摘要: 采用海水、河口水与淡水及简易设施开展室内封闭式高密度对虾养殖试验, 探讨了盐度对虾生长与氮磷收支的影响。结果表明, 100 d 养殖试验中, 未曾换水与用药, 养殖试验池主要水质指标虽有程度不等差异, 但均控制在对虾生长安全范围。3 个试验组对虾成活率随盐度降低分别显著下降 88.2%、53.9% 和 34.8%, ($P < 0.05$); 终末体重, 河口水组 (9.20 g) 显著高于海水组 (8.49 g) 和淡水组 (8.45 g) ($P < 0.05$); 单位水体产量随盐度降低极显著下降 2 443.52、1 597.50 和 659.52 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($P < 0.01$)。试验池氮、磷收支估算结果显示: 各试验组氮磷主要收与支的同类项所占比例较接近, 特点相同, 投入饲料氮与磷分别占氮与磷总收入 98.9%、98.1%、96.4% 与 99.3%、98.9%、97.9%, 水层与虾苗共含氮与磷分别占 1.1%、2.0%、3.7% 与 0.7%、1.1%、2.1%; 排污、不换水水层池水层氮占氮总输出比例最高, 略高于虾体; 污水磷占磷总输出比例明显高于其余项, 此不同于泥底虾塘为沉积物氮、磷占氮、磷总输出的比例最高。试验池水层与污水共含氮与磷分别占氮与磷总输出 57.7%、61.3%、57.2% 与 67.9%、66.7%、73.3%, 低于虾塘泥底沉积物与水层合计氮与磷占总氮与总磷输出比例; 收获虾体氮、磷占氮、磷总输出: 35.3%、34.5%、34.4% 与 19.3%、18.9%、19.0%, 饲料利用转化率较好; 池水蒸发渗漏与池壁吸附等损失输出氮、磷占氮、磷总输出: 7.0%、4.2%、8.5% 与 12.8%、14.3%、7.6%。

关键词: 盐度; 凡纳滨对虾; 生长; 成活率; 氮磷收支

中图分类号: S966.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)02-0275-06

Effects of salinity on the growth of *Litopenaeus vannamei* and the nitrogen, phosphorus budgets of the culture ponds

HOU Wen-jie¹, ZANG Wei-ling¹, DAI Xi-lin¹, LIU Yong-shi¹, ZHANG Yu¹, DING Fu-jiang², YANG Ming²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Shanghai Shencao Special Fisheries Development Company, Shanghai 201516)

Abstract: The growth of white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles (0.11-0.15 g) and nitrogen, phosphorus budget of culture ponds were investigated under conditions of seawater, estuary water and fresh water. The results showed that main water quality parameters among these three style waters were different throughout whole rearing period. However, there were no significant differences in water quality parameters under different water style ($P > 0.05$). Survival rates of white shrimp decreased significantly with decreased salinity ($P < 0.05$). Average final weight of the shrimp grown in seawater, estuary water and fresh water was 8.49, 9.20 and 8.45 g, respectively, and shrimp final weight in estuary water was higher than that in fresh water ($P < 0.05$). Final biomass loads of seawater groups (2 443.52 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) were much higher than that of estuary groups (1 597.50 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) and freshwater groups (659.52 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ($P < 0.01$). Test data suggest that the results of N, P budgets within the ponds among three style waters were similar. Most of the N, P entered the rearing ponds as formulated shrimp feed 98.9%, 98.1%, 96.4% of the input N and 99.3%, 98.9%, 97.9% of the input P in seawater, estuary water and fresh water. Intake water and shrimp juveniles accounted for 1.1%, 2.0%, 3.7% and 0.7%, 1.1%, 2.1% of the input N and P. Nitrogen was lost primarily from water layer nitrogen. Phosphorus was lost primarily from effluent P. The calculated outputs of P were different from that most output P was accumulated in the sediment in outdoor mud ponds. Within the ponds, 35.3%, 34.5%, 34.4% of the input N and 19.3%, 18.9%, 19.0% of input P were converted to harvest

收稿日期: 2010-08-02

基金项目: 上海市科委创新行动计划重点攻关 (073919102) 和国家科技部星火计划重点项目 (2008GA68003) 共同资助。

作者简介: 侯文杰, 男, 硕士研究生。E-mail: wjhou@yahoo.cn

* 作者简介: 戴习林, 男, 副教授。E-mail: xldai@sohu.edu.cn

shrimp, 57.7%, 61.3%, 57.2% and 67.9%, 66.7%, 73.3 % of output P was remained in the layer and effluent. Only 7.0%, 4.2%, 8.5% of input N and 12.8%, 14.3% , 7.6% of input P were unaccounted for, and generally assumed to be consumed from evaporation and adsorb.

Key words: salinity; *Litopenaeus vannamei*; growth; survival rate; nitrogen and phosphorus budgets

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)具有较强的盐度适应能力,目前在海水、半咸水和淡水中均有养殖^[1-7]。盐度是影响水生动物生理状态(新陈代谢、生长、营养需求等)的重要因子^[8]。许多学者^[1-3, 9-13]采用实验生态学的方法研究了不同盐度、离子组成对对虾生长、成活率和氮磷收支的影响。而有关采用室内小型封闭式池塘方法研究不同盐度水环境对对虾的生长与氮磷收支的影响尚未见报道。作者研究了海水、河口水和淡水对高密度养殖凡纳滨对虾的生长与氮磷收支的影响,旨在探讨对虾对不同盐度环境的生态适应机制,为凡纳滨对虾封闭式高密度养殖的水环境调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验用虾与养殖设施

养殖试验池为上海申漕特种水产开发公司卤虫孵化池,池上部为长方体(1.64 m×1.62 m×0.73 m),下部为圆锥体($h = 0.4$ m),中心设排污管,养殖水体 2 m³。河水经暗沉淀、消毒、充分曝气后注入试验池作养殖基础用水,试验虾为海南淡化苗,经 15 d 升盐与降盐驯化后布入试验池,池水连续充气,并悬挂预先培养生物膜的人工净水网(简称净水网),网具良好水质净化作用^[14]。布苗简况见表 1。

表 1 试验池布苗简况

Table 1 The seedstock of the test ponds

组别 Groups	海水组 Seawater	河口水组 Estuary water	淡水组 Freshwater
布苗密度/ ind · m ⁻³ Stocking densities	300	300	300
平均体长/cm Mean body length	2.22±0.38	2.28±0.54	2.15±0.23
平均体重/g Mean body weight	0.15	0.18	0.11

1.2 试验设计

据海水与河口水盐度(S)与相应 Ca²⁺与 Mg²⁺变化范围及其比值^[15-17],以浓缩海水将 S 调至 32.2 与 12.9,并相应调配 Mg²⁺与 Ca²⁺含量与比值(见表 2)。如此获得海水组,河口水组和淡水组(分别简称 S 组、E 组、F 组)所用 3 种类型水进行对虾养殖试验,各设 3 个平行。100 d 养殖期间,不换水、不用药,适时排污与补充蒸发、渗漏和排污损失水量;适时泼洒 NaHCO₃液予以调节 pH。

1.3 水质指标的测定

每 10 d 取试验池水样测水质指标^[18-19]: COD_{Mn}: 碱性高锰酸钾法; pH: pHB-4 型 pH 计; 总氨氮(TAN): 纳式比色法; NO²⁻-N: 重氮-偶氮比色法; NO³⁻-N: 锌镉还原-重氮偶氮比色法; 溶解

氧(DO): 修正碘量法; 采取初始水、终末水及污水测定水质总氮: 碱性过硫酸钾消解比色法(GB 11894-89); 虾苗与收获虾肉及饲料总氮: 凯氏定氮法; 水中总磷: 钼酸铵比色法(GB 11893-89); 虾肉和饲料中总磷: 食品中磷的测定(GB/T5009.87-2003)碱性过硫酸钾消解比色法; 非离子氨氮(NH₃-N_m)浓度由总氨氮(TAN)浓度由下式求得^[20]:

$$C_{NH_3-N} - C_{NH_3-N} \times f_{NH_3-N}$$

$$f_{NH_3-N} = 1/[1 + 10^{(pKa-pH+p/H^+)}]$$

1.4 对虾生长测量

每 10 d 随机取虾 10 尾测取体长、体重,成活率,体长增长率、体重增重率等计算式如下:

表 2 试验盐度、Mg²⁺及 Ca²⁺浓度

Table 2 Levels of salinity, Mg²⁺, Ca²⁺ and C_{Mg2+} / C_{Ca2+} in test groups

组别 Groups	海水组 Seawater	河口水组 Estuary water	淡水组 Freshwater
盐度 Salinity	32.2	12.9	0.6
C _{Ca2+}	385.7	160.3	60.1
C _{Mg2+}	1 194.4	377.0	34.1
C _{Mg2+} / C _{Ca2+}	3.1	2.4	0.6

$$\text{成活率} = (N_t / N_0) \times 100\%$$

$$\text{体长增长量} = L_t - L_0$$

$$\text{体长增长率} = (L_t - L_0) / L_0 \times 100\%$$

$$\text{体重增重量} = W_t - W_0$$

$$\text{体重增重率} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

式中 N_t 和 N_0 分别为始时与末时虾尾数; L_0 (W_0) 和 L_t (W_t) 为始时与末时体长 (重)。

1.5 数据分析方法

试验数据经最小显著差数法多重比较 (LSD), 使用 SPSS Statistics 17.0 分析软件对拟合方程进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 养虾池水质变化状况

表 3 为全周期试验池水质测定平均值。表 3 表明, 由于试验池连续曝气、排污与挂净水网等确保丰富溶氧量 ($DO > 6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$); 其余水质指标差异程度不等: 组间 TAN 差异极显著 ($P < 0.01$), TAN 随成活率增加而升高 (见表 4), 3 组变化范围 $0.540 \sim 0.249 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, S 组分别为 E、F 组 1.3 倍与 1.8 倍, 但组间非离子氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 无显著差异; 3 组 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 变化范围 $0.076 \sim 0.146 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, S 组 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 极显著高于 E、F 组 ($P < 0.01$), 其与 F 组间 pH, COD_{Mn} 差异极显著 ($P < 0.01$); E、F 组间 pH 与 COD_{Mn} 差异分别极显著 ($P < 0.01$) 与显著 ($P < 0.05$)。试验组盐度与离子含量的差异是各组对虾成活率不同的根本原因, 高盐度组成活率较高, 虾代谢产物与残饵等相应增加, 这些物质的氧化分解等导致 pH 降低, TAN、 COD_{Mn} 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 升高, 致使水质相对变差^[4], 但因采用排污、挂净水网与严格控制投饵量等措施, 试验池水质均控制良好。

2.2 3 种盐度养殖对虾的成活率与生长状况

表 4 为试验组对虾成活率与生长简况。经 100 d

养殖试验, 成活率随盐度降低由 88.2% 降至 34.8%, 组间存极显著差异 ($P < 0.01$), 此变化特点与其他方式养殖对虾报道相一致^[1-3, 23-24]; 终末体长: S 组: 9.02 cm, E 组: 9.12 cm, F 组: 8.85 cm, 无显著差异; 前两组体长增长率 (301.7%、300.4%) 相近, 但因 S 组、E 组在 15 d 升盐驯化期间, 已淡化到位的 F 组生长较慢, 因而正式试验时, F 组的初始体长 (重) 最小, 加之不佳的水质类型使其成活率低, 低密度利于虾生长, 最终致使其体长 (重) 增长率 316.1% (7 582.5%) 最高, 但体长增长率 F 组仅与 E 组间存显著差异 ($P < 0.05$), 其体重增重率 (7 582.5%) 极显著高于另两组 (5 011.3%、5 561.6%) ($P < 0.01$); 另外, 虽 S 组具合适水质类型, 但高成活率影响虾生长速度, 故 S 组、F 组终末体重显著低于 E 组 ($P < 0.05$)。李二超等^[1]以盐度 2 养殖对虾 56 d, 布苗密度 $133 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 成活率 70.8%, 体重增重率 5 436.2%, 介于本试验 S 与 E 组之间, 其认为盐度极显著影响成活率与生长指标, 本试验结果与之相符; Marcelo^[3]等用地下淡水与过滤设备养殖对虾 210 d, 布苗密度 $180 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 苗规格大 ($0.48 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) 成活率 65.9%, 最终体重 (9.9 g) 略高于试验组, 但本试验各试验组周生长率 (S、F 组 $0.58 \text{ g} \cdot \text{周}^{-1}$, E 组 $0.63 \text{ g} \cdot \text{周}^{-1}$) 均高于其结果 (周生长率 $0.33 \text{ g} \cdot \text{周}^{-1}$); 朱春华^[2]以换水方式养殖对虾 25 d, 结果为: $S = 18 \sim 26$, $90 \sim 92\%$, $S < 10$ 或 $S > 26$ 成活率与生长均较差, 其最佳范围与本试验结果略有差异; 资料^[6, 23-24]提出, 低盐度时, 对虾生长随盐度降低而减缓, 成活率降低。本试验结果与上述报道一致。从表 4 可知, S 组与 E 组虾产量分别为 F 组的 3.7 倍与 2.4 倍, 组间差异极显著 ($P < 0.01$)。

表 3 试验期间养殖试验组水质指标测定结果

Table 3 The water quality indexes of different culture groups

组别 Groups	温度/°C Temperature	DO	pH	TAN	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	COD_{Mn}
海水 Seawater	28.9±2.6	6.39±0.65	8.02±0.30 ^a	0.540±0.200 ^a	0.027±0.016 ^a	0.146±0.127 ^a	18.45±9.60 ^a
河口水组 Estuary water	28.8±2.6	6.49±0.42	8.07±0.28 ^a	0.420±0.201 ^b	0.026±0.014 ^a	0.076±0.080 ^b	16.61±11.01 ^{ab}
淡水组 Fresh water	28.7±2.6	6.58±0.37	8.23±0.27 ^b	0.299±0.192 ^c	0.028±0.009 ^a	0.080±0.085 ^b	14.48±8.56 ^b

注: 同列数字标有的不同字母表示在 0.05 水平上具差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.3 试验池的氮磷收支估算

2.3.1 试验池的氮磷输入状况 试验组全周期氮与磷收支估算结果分别列于表 5 和表 6。估算虾池氮

磷收支时, 氮磷输入源为虾苗、投入饲料与初始水层。表 5、表 6 表明, 3 组试验池初始水层与虾苗氮磷贡献甚低, 输入氮仅分别占氮总输入 0.3%~1.2%

与 0.9%~2.5%、输入磷分别占总磷输入 0.1%~0.3% 与 0.6%~1.8%。3 组饲料投入氮、磷所占各自总输入比例较接近, 分别为 96.4%~98.8% 与 97.9%~99.2%, 为氮、磷主要输入源, 由水层和虾苗输入氮、磷量甚少。综合资料^[25-29]与本试验结果

可知, 采用海、咸、淡等类型水质, 在室内或室外, 封闭式或换水开放式等养殖对虾, 凡是无施用肥料, 投入饲料均为虾塘氮、磷的主要贡献者, 多数认为两者均分别占其总输入量的 90% 左右, 本试验结果与之相比, 饵料所占氮磷输入比例更高。

表 4 养殖试验组凡纳滨对虾幼虾生长状况

Table 4 Growth status of *Litopenaeus vannamei* in different groups

组别 Groups	海水组 Seawater	河口水组 Estuary water	淡水组 Freshwater
成活率/% Survival rate	88.2±3.7 ^a	53.9±5.6 ^b	34.8±2.0 ^c
终末体长/cm Harvest body Length	9.02±0.26 ^a	9.12±0.09 ^a	8.85±0.26 ^a
体长增长率/% Length increasing rate	301.7±11.8 ^a	300.4±3.9 ^a	316.1±12.0 ^a
终末体重/g Harvest body Weight	8.49±0.39 ^{ab}	9.20±0.20 ^a	8.45±0.58 ^b
体重增重率/% Weight increasing rate	5 561.6±385.7 ^a	5 011.3±110.3 ^a	7 582.5±356.4 ^b
单位体积产量/g·m ⁻² Yield per cubic meter	2 443.52 ^a	1 597.50 ^b	659.52 ^c
单位面积产量/g·m ⁻² Yield per square meter	1 837.23 ^a	1 201.13 ^b	495.88 ^c

2.3.2 试验池的氮磷输出状况 估算虾池氮磷输出时, 输出途径含收获虾、水层、排污水(简称污水)及其他(渗漏+池壁吸附等)。其中“其他”为输入与输出总氮、总磷量之差。表 5 表明, 3 个试验组 4 种途径输出氮量顺序均为: 终末水层>收获虾>排污水>其他, 除“其他”外, 组间其余相同途径占百分比相近, 如终末水层为 35.5%~39.2%, 收获虾 34.4%~35.3%, 污水 20.5%~22.2%, 水层略高于虾体。不同于养虾泥塘常是池底沉积物含氮比例最高^[26,28,30]。本试验长达 100 d, 从无换水, 池内基本无藻类, 连续曝气使虾的大量粪便、代谢物及残饵等几乎全悬浮于水中, 因此未被利用的输入氮主要存于水层与污水中。若养虾塘为泥底, 具较强吸附能力的底泥使沉积物成为氮主要支出者。如 Dhirendra^[28]等用泥塘封闭式、杨逸萍^[26]以泥塘精养

方式分别养殖对虾 90 d 与 88 d (均无排污), 泥底沉积物含氮分别占总氮输出 52.8% 与 62%~68%, 泥底池沉积物与水层氮之和占总氮输出分别为约为 66.9% 与 70%~80%, 此两项之和在泥塘氮支出中的作用相当于排污水泥池水层与污水氮之和, 前者近于、但多数高于后者。如 3 个试验组此两项之和 57.2%~61.3%, 与资料^[13]报道(50.7%~58.3%)相近。本试验另一特点是饲料转化率较高, 收获虾体氮占氮总输出比例(34.4%~35.3%)略低于终末水层(35.5%~39.2%), 高于有关资料报道, 如 Dhirendra^[28]、杨逸萍^[26]、齐振雄^[13]等试验虾体氮占氮总输出分别为 27.9%、19% 与 9.06%~11.5%, 可见本试验所采用的精养模式可获得更高的饵料利用率。

表 5 养殖试验池的氮收支情况

Table 5 The N budget of different groups

组别 Groups	输入氮/% Input of N			输出氮/% Output of N			其他 Others
	虾苗 Juvenile	初始水层 Initial water	饲料 Feed	收获虾 Harvest hrimp	终末水层 Remain water	污水 Output water	
海水组 Seawater	0.8	0.3	98.9	35.3	35.5	22.2	7.0
河口水组 Estuary water	1.4	0.6	98.1	34.5	39.2	22.1	4.2
淡水组 Fresh water	2.5	1.2	96.4	34.4	36.7	20.5	8.5

3 个试验组各途径磷输出占总磷输出比例顺序与氮不同: 污水>终末水层>收获虾>其他, 污水磷明显高于其余输出途径, 前两者之和占输出总磷 66.7%~73.3%。收获虾体磷占输出总磷 18.9%~

19.3%, 高于通常养殖泥塘。泥塘沉积物磷是总磷输出的主要形式, 如齐振雄^[13]、Dhirendra^[28]与苏跃朋^[31]等分别提出泥塘沉积物磷占输出总磷 21.7%~95.9%、66.7%、52.0%, 虾体分别占 3.0%~

3.9%、3.0%、12.8%; 水层为 8%~12%、12.4%、27.3%, 而本试验中由于无底泥吸附, 污水磷主要集中于残饵与粪便沉积, 其部分小颗粒悬浮于水体, 导致沉积物磷低于前三者试验结果, 而水体磷较高; 但虾

体磷含量远高于三者, 体现了封闭式养殖饵料利用率高的特点。可见 3 个试验组氮磷收支状况无明显差异, 饵料氮磷转化率均较高。

表 6 养殖试验池的磷收支情况

Table 6 The P budget of different groups

组别 Groups	输入磷/% Input of P			输出磷/% Output of P			其他 Others
	幼虾 Juvenile shrimp	初始水层 Initial water	饲料 Feed	收获虾 Harvest hrimp	终末水层 Remain water	污水 Output water	
海水组 Seawater	0.6	0.1	99.3	19.3	26.1	41.8	12.8
河口水组 Estuary water	1.0	0.1	98.9	18.9	26.7	40.0	14.3
淡水组 Fresh water	1.8	0.3	97.9	19.0	36.4	36.9	7.6

3 结论

对虾在海水与河口水生长、成活率优于淡水, 在河口水中生长最佳^[1,23]。显然, 试验组盐度与离子含量的差异是各组对虾成活率不同的根本原因, 组间成活率与产量差异极显著, 体长(重)增长率也存一定差异。过低盐度养殖对虾效果差的根本原因, 除因对虾调节渗透压需消耗更多能量外, 水中主要离子含量及彼此比值与对虾自然生活区差异较大也是重要原因^[9,31-33]。本试验与资料^[1-3,11,26]表明: 在室内外或换水与否的多种方式养殖试验中, 凡纳滨对虾养殖最适盐度范围约 15~20, 当 $S < 10$, 特别是淡水养殖对虾, 成活率与生长均较差。但如采用本试验方法与设施, 参考资料^[3,25,33], 适当调节主要离子, 如钙、镁与钾等含量, 以淡水或低盐度养殖对虾仍可取得有益的养殖效果。

室内以 3 种盐度封闭式养殖对虾池氮磷收支特点相近: 均以投入饵料为氮磷的主要输入途径, 水层与污水之和为总氮、总磷输出的主要部分, 低于多数泥塘底沉积物与水层氮、磷之和在各自输出总量的比例, 虾体氮磷占总输出量比例较高, 表明饵料利用转化率较高。但 3 个试验组间虾体所占氮磷输出比例间无明显差异。

参考文献:

[1] 李二超, 陈立侨, 曾嶷, 等. 不同盐度下饵料蛋白质含量对凡纳滨对虾生长、体成分和肝胰腺组织结构的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 425-433.
 [2] 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.
 [3] Aranedo M, Pérez E P, Gasca-Leyva E. White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: Condition state based on length and weight[J]. Aquaculture, 2008, 283: 13-18.

[4] Davis D A, Samocha T M, Boyd C E. Acclimating pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to inland[M]. Low-salinity waters RAC Publication, 2004, 2601: 1-8.
 [5] Szuste B, Flaherty M. A regional approach to assessing organic waste production by low salinity shrimp farms [J]. Aquaculture Asia, 2002, 7(2): 48-52.
 [6] 王兴强, 马甦, 董双林. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学研究进展[J]. 海洋湖沼通报, 2004(4): 94-100.
 [7] 宋盛宪, 郑石轩. 南美白对虾健康养殖[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 20.
 [8] Kinne O. Salinity: Animal invertebrates [C]// Kinne O. Marine ecology Vol I. Environmental factors. Wiley Interscience, London, 1971: 821-995.
 [9] 来琦芳, 王慧, 房文红. 水环境中 K^+ 、 Ca^{2+} 对中国明对虾幼虾生存的影响[J]. 生态学杂, 2007, 26(9): 1359-1363.
 [10] Funge-Smith S J, Briggs M R P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds implications for sustainability [J]. Aquaculture, 1998, 164: 117-133.
 [11] 臧维玲, 杨明, 戴习林, 等. 凡纳滨对虾室内封闭式养殖水质变化与氮收支的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5): 1019-1024.
 [12] Teichert-Coddington D R, Martinez D. Partial nutrient budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras[J]. Aquaculture, 2000, 190: 139-154.
 [13] 齐振雄, 李德尚, 张受平, 等. 对虾养殖池塘氮磷收支的实验研究[J]. 水产学报, 1998, 22(2): 124-128.
 [14] 臧维玲, 戴习林, 徐嘉波, 等. 室内凡纳滨对虾工厂化养殖循环水调控技术与模式[J]. 水产学报, 2008, 32(5): 749-757.
 [15] 臧维玲, 江敏, 戴习林, 等. 杭州湾漕泾沿岸水化学状况[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(3): 200-203.
 [16] 蔡云龙, 臧维玲, 戴习林, 等. 杭州湾漕泾沿岸水化学状况[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(3): 219-224.
 [17] 大连水产学院. 海水化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 20-22, 355.
 [18] 臧维玲. 养鱼水质分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 44-96.
 [19] 国家质量监督局. 海水分析. 海洋监测规范[S]. 北京:

- 中国标准出版社, 1998: 142-142, 150-162.
- [20] Alabaster J S, Lloyd R. Water quality criteria for freshwater fish[M]. 2nd ed. London: University Press of Cambridge, 1982: 85-87.
- [21] 彭自然, 臧维玲, 高杨. 亚硝酸盐对凡纳滨对虾幼虾毒性作用[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(3): 274-278.
- [22] 臧维玲, 戴习林, 罗春芳, 等. 氨、亚硝酸盐对凡纳滨对虾幼虾毒性作用[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(3): 274-278.
- [23] 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.
- [24] 沈丽琼, 陈政强, 陈昌生, 等. 盐度对凡纳滨对虾生长于免疫功能的影响[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2007(2): 108-113.
- [25] ZANG W L, YANG M, DAI X L, et al. Regulation of water quality and growth characteristics of indoor raceway culture of *Litopenaeus vannamei* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27(4): 740-747.
- [26] 杨逸萍, 王增焕, 孙建, 等. 精养虾池主要水化学因子变化规律和氮的收支[J]. 海洋科学, 1999(1): 15-17.
- [27] Jackson C, Preston N, Thompson P J. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm[J]. Aquaculture, 2003, 218: 397-411.
- [28] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems [J]. Aquacultural Engineering, 2003, 27(3): 159-176.
- [29] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 养殖密度对工厂化对虾养殖池氮磷收支的影响[J]. 中国水产科学, 2007(6): 926-931.
- [30] 苏跃朋, 马牲, 田相利, 等. 中国明对虾精养池塘氮、磷和碳收支的研究[J]. 南方水产, 2009, 5(6): 54-58.
- [31] 刘存歧, 刘丽静, 王军霞, 等. 基于卤水的养殖用水中 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 对南美白对虾生长及体内 SOD 和 AKP 的影响[J]. 水产科学, 2007, 26(2): 67-69.
- [32] Saoud I P, Davis D A, Rouse D B. Suitability studies of inland well water for *Litopenaeus vannamei* culture[J]. Aquaculture, 2003, 217: 373-383.
- [33] 朱春华, 徐志标. 淡水养殖水体 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 含量对南美白对虾生长的影响[J]. 淡水渔业, 2002, 32(6): 46-48.