

室内不同水位养殖凡纳滨对虾的生长及养殖系统氮磷收支

刘永士^{1,2}, 臧维玲¹, 戴习林^{1*}, 侯文杰^{1,2}, 张煜¹, 杨明³, 丁福江³

(1.上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2.上海市水产研究所, 上海 200433; 3.上海申漕特种水产开发公司, 上海 201516)

摘要:在不换水、不用药条件下,在室内采用相同规格(3.50 m×7.15 m×1.20 m)水泥池和相同养殖密度 300 ind/m³,分别以水位 40、80、110 cm 淡水养殖凡纳滨对虾 81 d,研究不同养殖水位(水量)下凡纳滨对虾的生长与养殖系统的氮、磷收支。结果表明:40 cm 水位试验组成活率、单位体积水体产量显著高于其他 2 组($P<0.05$);80 cm 水位组饵料系数显著高于其他 2 组($P<0.05$);收获虾的体长、体重 3 组间均无显著差异($P>0.05$);3 个组单位面积水体产量两两间差异显著($P<0.05$);按 40、80、110 cm 水位组顺序排列,来自投饵的氮占输入总氮的比分别为 95.9%、95.8%、96.3%,来自投饵的磷占输入总磷的比分别为 97.5%、97.5%、97.8%;收获虾输出氮占总输出氮的比分别为 37.6%、35.7%、28.7%,收获虾输出磷占总输出磷的比分别为 12.6%、14.0%、11.5%;终末水层和沉积物输出氮占总输出氮的比分别为 41.8%、56.3%、63.6%,终末水层和沉积物输出磷占总输出磷的比分别为 77.1%、66.4%、73.2%。

关键词:凡纳滨对虾;养殖水位;成活率;产量;氮磷收支

中图分类号:S855.3 文献标志码:A 文章编号:1007-1032(2011)05-0526-05

Growth of *Litopenaeus vannamei* and budgets of nitrogen and phosphorus in indoor culture systems with different water levels

LIU Yong-shi^{1,2}, ZANG Wei-ling¹, DAI Xi-lin^{1*}, HOU Wen-jie^{1,2}, ZHANG Yu¹, YANG Ming³, DING Fu-jiang³

(1. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China; 3. Shanghai Shencao Specila Fisheries Development Co., Shanghai 201516, China)

Abstract: The study was carried out in concrete ponds of the same rating (3.50 m×7.15 m×1.20 m) with the culture densities of 300 ind/m³ under the condition of no medicine and water exchange, the water levels were 40, 80 and 110 cm, respectively. The effect of different water levels(volumes) on nitrogen and phosphorus budgets in culture systems and the growth of *Litopenaeus vannamei* were analysed by 81 d period of freshwater indoor culture. The results showed that the survival and the per volume yield in the lowest water level (40 cm) group was significantly higher than those in the other groups ($P<0.05$). The feed coefficient in highest water level (110 cm) was significantly higher than that in the other groups($P<0.05$). The length and weight of harvested shrimps showed no significant differences among three groups ($P>0.05$). The per unit yield showed significant differences among the three groups ($P<0.05$). The results also showed that feed was the main source of nitrogen and phosphorus inputs in each group, respectively accounting for 95.9%, 95.8% and 96.3% input of nitrogen and 97.5%, 97.5% and 97.8% input of phosphorus in ponds with water level of 40, 80 and 110 cm, respectively. 37.6%, 35.7% and 28.7% of nitrogen input and 12.6%, 14.0% and 11.5% of phosphorus input respectively in ponds with each water level were recovered as harvested shrimp biomass while 41.8%, 56.3% and 63.6% of nitrogen input and 77.1%, 66.4%, 73.2% of phosphorus input respectively in ponds with each water level remained in the water and sediment.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; water level; survival; yield; nitrogen and phosphorus budgets

收稿日期:2011-06-21

基金项目:上海市科委创新行动计划重点攻关项目(073919102);国家标准化管理委员会下达项目(SFQ6-272)

作者简介:刘永士(1985—),男,山东荣成人,硕士研究生,主要从事渔业水环境及其调控研究,liuys101@yahoo.com.cn; *通信作者, xldai@shou.edu.cn

目前, 凡纳滨对虾为中国对虾的主要养殖品种。已有关于凡纳滨对虾养殖方式与生长特点的研究^[1-4], 如张国新^[1]以置于室外塘中的网笼(0.2 m²)研究了养殖密度对南美白对虾的成活率和体长、体重增长的影响; 谢仁政等^[2]报道了高位池养殖凡纳滨对虾的体长与体重的关系; 侯文杰等^[3]通过室内养殖凡纳滨对虾得到了试验条件下最适养殖密度 350~550 ind/m³; 查广才等^[4]以池塘围隔系统研究了低盐度养殖凡纳滨对虾体长和体重的增长规律。至今尚未见不同养殖水位(水量)下室内养殖凡纳滨对虾生长的报道。笔者在不换水、不用药条件下, 采用相同养殖密度、不同水位的水泥池室内封闭式淡水养殖凡纳滨对虾, 探讨不同养殖水位(水量)对凡纳滨对虾生长以及养殖系统氮磷收支的影响, 旨在为养殖空间的科学利用及饲料的合理投喂提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)虾苗购自厦门, 经淡化驯化后布苗, 其体长为 0.91 cm, 体重为 7.15 mg。试验用水为经漂白粉精消毒、暗房沉淀数日和充分曝气等预处理的当地河水。

1.2 方 法

试验于 2010 年 7 月至 2010 年 10 月在上海金山养殖场育苗池进行。试验时间为 81 d。育苗池(3.50 m×7.15 m×1.20 m)9 个, 每个池中布有 18 个充气石, 连续曝气。

试验设置 3 个组, 每个组 3 个平行, 采用 40 cm 低水位布苗, 在 7 d 内将水位分别加到 80、110 cm 预定水位, 并维持在全养殖周期。每个池中挂 1 片净水网片。

各池单位体积布苗密度均为 300 ind/m³(因各池规格相同, 水位不同, 放苗量不同, 故 40、80、110 cm 水位组单位面积布苗量分别为 120、240 与 320 ind/m²)。试验期间, 每天于 7:00、12:00、18:00、10:00 共 4 次定量、定点投喂对虾配合饲料, 前 30 d 每天投喂量为对虾体重的 10%, 以后逐步降为 5%

左右。从养殖 55 d 开始, 在 18:00 投饵 1.5 h 后均匀泼洒碱溶液, 控制池水 pH 为 7.60~8.40。

1.3 测定指标及方法

每 15 d 测试验池 pH、总氨氮(TAN)、亚硝基氮(NO₂⁻-N)、硝基氮(NO₃⁻-N)、化学需氧量(COD_{Mn})等水质指标, 并同时随机取虾测其体长、体重。养殖结束时取水样、虾样、网片、饲料以及各池沉积物, 用于总氮、总磷的测定。

水质测定方法参照文献[5]、[6]: COD_{Mn} 的测定用碱性高锰酸钾法; TAN 的测定用萘式比色法; NO₂⁻-N 的测定用重氮-偶氮比色法; NO₃⁻-N 的测定用锌镉还原-重氮偶氮比色法。水样、沉积物总氮(TN)的测定采用过硫酸钾法(GB11894—89); 饲料、网片与虾体 TN 均采用饲料中粗蛋白测定方法(GB/T 6432—94); 各样品总磷测定均采用饲料中总磷的测定方法(分光光度法 GB/T 6437—2002)。相关指标的计算公式^[7]分别为:

$$\text{增重率} = (W_t - W_0) / W_0;$$

$$\text{增长率} = (L_t - L_0) / L_0;$$

$$\text{成活率} = N_t / N_0;$$

$$\text{饵料系数} = (P_t - P_0) / P_f;$$

$$C_{\text{NH}_3-\text{N}} = C_{\text{TAN}} \times f_{\text{NH}_3-\text{N}};$$

$$f_{\text{NH}_3-\text{N}} = 1 / [1 + 10^{(pK_a - \text{pH} + \text{prH}^+)}]。$$

式中: W_0 为虾初始体重; W_t 为终末体重; L_0 为初始体长; L_t 为终末体长; N_0 为初始尾数; N_t 为终末尾数; P_t 为养殖结束时每个池的对虾总产量; P_0 为虾苗总量; P_f 为投喂饲料的总量; $C_{\text{NH}_3-\text{N}}$ 为分子氮浓度; C_{TAN} 为总氨氮浓度; $f_{\text{NH}_3-\text{N}}$ 为非离子氨氮(NH₃-N)占总氨氮(TAN)的百分比; pK_a 为 NH₄⁺ 水解反应表观平衡常数的负对数; prH^+ 为氢离子活度系数的负对数。

1.4 数据处理方法

用 Excel 2003 软件对数据进行单因素方差分析; 用最小显著差数法(LSD 法)^[8]进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同水位组水质状况

表 1 结果表明, 各水位组池水的溶解氧含量

>5.89 mg/L。这是由于养殖池连续曝气与挂净水网片等措施有利于池水物质的正常转化,所以,池水溶氧量远高于凡纳滨对虾生长对溶解氧 3 mg/L 的需求^[9-10]。泼洒碱溶液后,pH 保持在 8.40 左右的合适水平。根据相关研究^[11-13],对于体长 2.2 cm 的凡纳滨对虾,TAN、NH₃-N 的安全浓度分别为 2.44、0.12 mg/L;对于体长 5.6 cm 的凡纳滨对虾,NO₂⁻-N 的安全浓度为 6.1 mg/L。由表 1 可见,各池 TAN

(NH₃-N)与 NO₂⁻-N 的含量均在对虾生长的安全范围内。显著性分析结果显示,每组各水质指标间均无显著性差异($P>0.05$),表明虽然各组对虾放养量不同,但在单位体积水体养殖密度相同的情况下,对虾并未对水质产生显著影响。可见,虽未换水,但通过连续曝气、挂净水网片、适时泼洒碱溶液以及控制投饵量等措施,确保了各试验池水质始终维持在对虾生长的适宜范围内。

表 1 试验期间各水位养殖池中水体水质指标的平均值

Table 1 Average values of water quality indexes in different groups

mg/L

| 水位/cm | pH | 溶解氧含量 | TAN 含量 | NH ₃ -N 含量 | NO ₂ ⁻ -N 含量 | NO ₃ ⁻ -N 含量 | 化学需氧量 |
|-------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------|
| 40 | 8.47±0.02 | 6.47±0.54 | 0.384±0.026 | 0.067±0.010 | 0.073±0.015 | 6.994±1.330 | 10.18±3.45 |
| 80 | 8.45±0.00 | 6.25±1.21 | 0.344±0.009 | 0.052±0.003 | 0.065±0.010 | 9.525±1.061 | 10.88±2.36 |
| 100 | 8.43±0.03 | 5.89±0.78 | 0.398±0.036 | 0.076±0.019 | 0.089±0.013 | 8.692±1.688 | 11.32±2.52 |

2.2 不同水位组对虾的生长状况

表 2 结果表明,40 cm 水位组成活率较 80、110 cm 水位组分别高 22.8%与 20.8%,存在极显著差异($P<0.01$)而 80cm 水位组较 110 cm 水位组低 2.0%,差异不显著($P>0.05$)。这可能因为,虽然各池底面

积与单位体积水体养殖密度相同,但单位面积布苗密度差异较大,各组总水量不同,浅水位组的残饵较易沉于池底,高水位组水层中悬浮残饵总量大于低水位组,沉积于池底的残饵量较低水位组少。

表 2 各水位组对虾养殖 81 d 时的生长指标

Table 2 Growth indexes of *Litopenaeus vannamei* in experimental ponds with different water levels at 81 d

| 水位/cm | 成活率/% | 终末体长/cm | 终末体重/g | 总产量/kg | 单位面积产量/(kg·m ⁻²) | 单位体积产量/(kg·m ⁻³) | 饵料系数 |
|-------|-------------|-----------|-----------|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------|
| 40 | (72.9±2.7)A | 7.94±0.37 | 6.29±0.67 | (13.7±1.6)a | (0.55±0.06)a | (1.37±0.16)a | (1.10±0.10)a |
| 80 | (50.1±5.1)B | 8.07±0.12 | 6.81±0.28 | (20.4±1.3)b | (0.82±0.05)b | (1.02±0.07)b | (1.22±0.06)a |
| 110 | (52.1±2.0)B | 7.93±0.51 | 6.11±0.82 | (25.4±3.2)c | (1.02±0.13)c | (0.92±0.11)b | (1.44±0.11)b |

表 2 结果表明,40 cm 水位组单位体积产量较 80、110 cm 水位组分别高 34.3%、48.9%,差异显著($P<0.05$),80、110cm 水位组间无显著差异($P>0.05$),而 3 个组单位面积产量两两间差异显著($P<0.05$)。3 个组总产量两两间均存在显著性差异($P<0.05$)。终末体长与体重各组间均无显著差异($P>0.05$)。试验结果表明,水位最高组(110 cm 水位组)总产量最高,分别为 40、80 cm 水位组的 1.9 倍、1.2 倍。可见水位较高,养殖总水量也较多,利于获得较高的总产量。饵料系数随养殖水位增加而逐渐升高,110 cm 水位组饵料系数显著高于 40、80 cm 水位组($P<0.05$),40、

80 cm 水位组间无显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同水位组养殖系统的氮、磷收支

2.3.1 氮、磷输入

估算养殖池的氮、磷收支时,将氮、磷的输入途径确定为饲料、虾苗、初始水层。表 3 结果表明,3 个组中,虾苗与初始水层对氮、磷输入的贡献甚小,而饲料氮、磷的输入占氮、磷总输入的比分别为 95.8%~96.3%、97.5%~97.8%,所以,饲料为氮、磷的主要输入形式。

表 3 养殖系统的氮、磷收支

Table 3 Nitrogen(phosphorus) budgets of culture systems

| 途 径 | 氮收支/% | | | 磷收支/% | | |
|--------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | 40 cm 水位组 | 80 cm 水位组 | 110 cm 水位组 | 40 cm 水位组 | 80 cm 水位组 | 110 cm 水位组 |
| 输入：饲料 | 95.9 | 95.8 | 96.3 | 97.5 | 97.5 | 97.8 |
| 虾苗 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 初始水层 | 4.0 | 4.1 | 3.6 | 2.5 | 2.5 | 2.2 |
| 输出：收获虾 | 37.6 | 35.7 | 28.7 | 12.6 | 14.0 | 11.5 |
| 终末水层 | 35.6 | 53.9 | 61.4 | 47.6 | 58.0 | 67.9 |
| 沉积物 | 6.2 | 2.4 | 2.2 | 29.5 | 8.4 | 5.3 |
| 网片吸附 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 2.8 | 2.4 | 2.1 |
| 其他 | 20.1 | 7.4 | 7.3 | 7.5 | 17.2 | 13.1 |

2.3.2 氮、磷输出

养殖系统氮、磷输出的主要途径有收获虾、终末水层、沉积物、网片吸附及“其他”途径(渗漏、池壁吸附等),其中,“其他”途径的值等于输入与输出的总氮量之差或总磷量之差。表 3 结果表明,40 cm 水位组收获虾的输出氮占总输出氮的 37.6%,比终末水层高 2%,所以,收获虾为 40 cm 水位组氮、磷的主要输出形式;终末水层为 80、110 cm 水位组的氮、磷主要输出形式。

40、80、110 cm 水位组收获虾输出氮占总输出氮的 37.6%、35.7%、28.7%,由此可见,随养殖水体水位的增加,该比例逐渐减小,但差异不显著($P>0.05$),这与养殖水体少的组饵料利用率好有关(表 2)。网片吸附氮占总输出氮的 0.4%~0.6%,网片吸附磷占总输出磷的 2.1%~2.8%。网片于养殖进行到约 30 d 时才悬挂于各池,到养殖结束时,网片上附着有大量的悬浮物,但网片的固氮量并不高,这是因为网片量不多,每个养殖池仅挂了 1 片,也因为网片上生物膜可通过氨化、硝化和反硝化等作用分解含氮有机物,并最终将其转化成气体排出水体。

3 结论与讨论

有研究^[1,14]表明,虾类具自残特点,养殖密度高,个体对资源、空间的竞争加剧,虾体相互接触的频率增加,相互间撕咬和吞食程度加剧,导致残杀率提高,成活率降低。本试验虽单位体积水体养殖密度相同,但单位面积的养殖密度相差大,而凡纳滨对虾属底栖虾类,喜在池底聚集觅食,这势必

造成高水位组池底对虾密度高于低水位组,致使对虾彼此残杀率增大,特别是刚蜕壳的虾易被蚕食,因而对虾的成活率随水位的升高而降低。为了合理利用水体,提高对虾成活率,可在水中添加附着物,增加虾类的附着面积和隐蔽场所,降低虾的密集程度。李增崇等^[15]指出,在罗氏沼虾养殖池中添加瓦片、竹枝、竹筒等隐蔽物,可减少沼虾相互残杀,提高成活率。

养殖水体的大小和饵料系数有一定的关系^[16],养殖水体大时,为保证大部分对虾均有摄食机会,需投喂相对多的饲料,因而导致饵料系数高。

Martin 等^[17]、Briggs 等^[18]和 Thakur 等^[19]报道,在对虾养殖系统中,饲料是主要的氮、磷输入形式,来自饵料的氮为输入总氮的 82%~95%,来自饵料的磷为输入总磷的 38%~91%。本试验结果低于以上研究结果。这可能与本试验中设置的养殖密度较高,且没有浮游植物固氮有关。李玉全等^[20]发现,工厂化对虾养殖密度为 300 ind/m³,养殖 63 d,来自饵料的氮占输入总氮的 84.3%,来自饵料的磷占输入总磷的 93.2%。本试验结果低于该研究结果。这主要因本试验养殖时间为 81 d,时间较长,养殖后期投饵量加大,残饵增加。

池底沉积物为泥塘养虾氮、磷的主要输出形式^[19,21-22]。利用高位池在不同季节养殖凡纳滨对虾时,养殖废水为氮、磷的主要输出形式^[23];侯文杰等^[24]在研究盐度对凡纳滨对虾养殖氮、磷收支影响时发现,终末水层为其氮、磷的主要输出源。本试验为时 81 d,未换水,未排污,池内基本无藻类,连

续曝气使虾的粪便、代谢物及残饵等悬浮于水中,因而导致水层中氮、磷含量较高。室外池塘养虾的曝气不连续,且强度较弱,池塘底泥具有较强的吸附力,所以,沉积物是其氮、磷主要的输出源。

据报道^[18-19,25-27],收获虾固定氮占总输出氮的9%~31%。本试验中,40、80 cm 水位组的值高于以上报道,这表明本试验饵料投喂合理,对虾生长健康,对饵料的利用率较高。

将本试验养殖模式应用于生产时,可采取增加水量,在水中添加瓦片、竹枝、竹筒等隐蔽物来增加对虾摄食和活动的空间,以提高成活率与饵料系数,取得较好的养殖效果。

参考文献:

- [1] 张国新. 不同养殖密度对南美白对虾生长的影响[J]. 河北渔业, 2008(8):12-15.
- [2] 谢仁政,刘建勇,范才军,等. 高位池养殖凡纳滨对虾生长的研究[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(6): 50-54.
- [3] 侯文杰,臧维玲,刘永土,等. 室内凡纳滨对虾养殖密度对水质与生长的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 284-289.
- [4] 查广才,周昌清,黄建荣,等. 低盐度养殖的凡纳滨对虾体长和体重增长规律[J]. 水产学报, 2006, 30(4): 489-494.
- [5] 臧维玲. 养鱼水质分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 44-96.
- [6] GB17378.1—1998 海洋监测规范[S].
- [7] Alabaster J S, Lloyd R. Water Quality Criteria for Freshwater Fish[M]. London: University Press of Cambridge, 1982: 85-87.
- [8] 蔡一林,岳永生. 水产生物统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 86-88.
- [9] 马海娟,臧维玲,崔莹. 温度对凡纳滨对虾瞬时耗氧率与溶氧水平的影响[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(1): 52-55.
- [10] 陈琴,陈晓汉,罗永巨. 凡纳滨对虾耗氧率和窒息点的初步测定[J]. 水利渔业, 2001, 21(2): 14-15.
- [11] Lin Y C, Chen J C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 259: 109-119.
- [12] Lin Y C, Chen J C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei*(Boone) juveniles at different salinity levels [J]. Aquaculture, 2003, 224: 193-201.
- [13] 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.
- [14] 张天时,孔杰,刘萍,等. 饵料和养殖密度对中国对虾幼虾生长及存活率的影响[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 41-47.
- [15] 李增崇,高体佑. 罗氏沼虾[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1981: 85-87.
- [16] 张良尧,陈凤贤. 如何降低对虾养殖饵料系数[J]. 广西水产科技, 2006(4): 49-50.
- [17] Martin J L M, Veran Y, Guelorget O, et al. Shrimp rearing: Stocking density, growth impact on sediment, waste output and their relationship studied through the nitrogen budget in rearing ponds[J]. Aquaculture, 1998,164:135-149.
- [18] Briggs M R P, Funge-Smith S J. A nutrient budget of some intensive marine ponds in Thailand[J]. Aquac Fish Manag, 1994, 24:789-811.
- [19] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp(*Penaeus mondon*) culture system[J]. Aquac Eng, 2003, 27:159-176.
- [20] 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, 2007,14(6): 926-931.
- [21] 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.
- [22] 苏跃朋,马甦,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.
- [23] 李金亮,陈雪芬,赖秋明,等. 凡纳滨对虾高位池养殖氮、磷收支研究及养殖效果分析[J]. 南方水产, 2010, 6(5): 13-20.
- [24] 侯文杰,臧维玲,戴习林,等. 盐度对凡纳滨对虾生长和氮磷收支的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(2): 275-280.
- [25] Jackson C, Preston N, Thompson P J, et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm[J]. Aquaculture, 2003,218: 397-411.
- [26] 齐振雄,李德尚,张曼平,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.
- [27] Funge-smith S F, Briggs M R P. Nutrient budgets of in intensive shrimp ponds implication for sustainability[J]. Aquaculture, 1998, 164: 117-133.

责任编辑: 王赛群