

## 养殖密度对工厂化对虾养殖池氮磷收支的影响

李玉全<sup>1,2</sup>, 李健<sup>2</sup>, 王清印<sup>2</sup>, 张海艳<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学, 山东 青岛 266109; 2. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 本实验设置 300 尾/m<sup>3</sup>、600 尾/m<sup>3</sup>、1 200 尾/m<sup>3</sup> 和 1 800 尾/m<sup>3</sup> 4 个养殖密度, 探讨了工厂化对虾养殖池中养殖密度对氮磷收支的影响。结果表明, 饵料对系统氮、磷的贡献率分别为 84.3%~98.3% 和 93.2%~97.3%, 且随养殖密度的增加而提高; 通过水层输出的氮、磷分别为总输出量的 27.5%~36.3% 和 8.4%~23.9%, 通过底泥沉积的氮、磷分别为总输出量的 30.9%~43.9% 和 51.5%~62.3%。结果说明, 在系统氮磷的总输出中, 水层输出和沉积均占到了相当的比重, 相比较而言, 沉积作用更为重要。养殖密度增加会在一定程度上降低水层和提高底泥沉积的氮磷量; 总氮磷的投入中有 14.5%~28.7% 的氮和 7.4%~16.5% 的磷最终转化为对虾生物量, 表现为随养殖密度的增加而降低; 池壁附着物中积累的氮磷量在总氮磷输出中所占比重较小, 分别为 0.3%~3.2% 和 0.2%~3.0%, 且其比重随养殖密度的增加而降低。结果说明, 养殖密度显著影响对虾工厂化养殖池氮磷的收支。[中国水产科学, 2007, 14 (6): 926-931]

**关键词:** 凡纳滨对虾; 养殖密度; 工厂化养殖; 氮磷收支

中图分类号: S968.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)06-0926-06

养殖密度高, 物质投入量多和单位面积产量高是工厂化对虾养殖的主要特征。养殖密度高和物质投入量多势必造成养殖水体中对虾代谢废物和残饵等污染物含量的增加。频繁大量的水交换是目前中国对虾工厂化养殖普遍采用的措施<sup>[1-2]</sup>。大量养殖废水的排放会造成接收水体的富营养化, 从而引起严重的环境问题, 环境恶化反过来又会影响对虾养殖<sup>[3]</sup>。因此, 了解工厂化对虾养殖池中氮磷的收支状况, 具有重要的意义。研究报道, 虾池中 90% 以上的营养物质来自饵料的投入, 而这些营养物质中仅有很少一部分被同化, 其余均以可溶性或非可溶性状态留在养殖水体中<sup>[4]</sup>。大量营养物质的输入一旦超过水体的同化能力, 便会造成养殖环境恶化, 同时也会威胁对虾生长<sup>[5]</sup>。以前国内外的对虾养殖环境物质研究多集中于露天土池养殖或围隔养殖系统<sup>[5-8]</sup>, 对于工厂化对虾养殖系统的研究国内外报道较少<sup>[9]</sup>。本研究的目的在于分析工厂化对虾养殖池中氮磷的收支规律和转化效率, 以期为进一步了解工厂化养殖环境, 推动对虾养殖业的健康可持续发展提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

实验所用材料为体色透明、健康活泼、摄食旺盛、规格整齐一致的凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 购自山东昌邑海丰养殖责任有限公司。实验开始时对虾体长为  $(0.71 \pm 0.17)$  cm, 体质量为  $(0.060 \pm 0.002)$  g。

#### 1.2 实验设计

实验于 2005 年 6 月 6 日~8 月 8 日在中国水产科学院黄海水产研究所小麦岛实验基地进行, 历时 63 d。实验用养殖池为长方形玻璃钢水槽 (235 cm×145 cm×100 cm), 池壁清洁无底质, 注水 2 m<sup>3</sup>, 设置 4 个养殖密度, 分别为 300 尾/m<sup>3</sup> (D<sub>1</sub>)、600 尾/m<sup>3</sup> (D<sub>2</sub>)、1 200 尾/m<sup>3</sup> (D<sub>3</sub>) 和 1 800 尾/m<sup>3</sup> (D<sub>4</sub>), 每处理设置 2 个重复。

#### 1.3 日常管理

实验对虾投喂“海森特”牌人工配合饲料 (粗蛋白质含量 42%, 粗脂肪含量 4.0%~8.0%, 粗灰分含量 ≤16%), 每天投喂 4 次 (05:00、11:00、17:00 和 23:00), 日投喂量为对虾湿质量的 4%。养殖过

收稿日期: 2007-04-22; 修订日期: 2007-07-06.

基金项目: 农业科技跨越计划 (2003-5); 国家科技攻关计划 (2004BA526B0201); 青岛农业大学人才启动基金 (630628).

作者简介: 李玉全 (1978-), 男, 博士, 主要从事养殖生态学方面研究. E-mail: jiangfangqian@163.com

通讯作者: 王清印. Tel: 0532-85822959; E-mail: qywang@public.qd.sd.cn

程中连续充气增氧,确保水体溶解氧含量不低于  $4 \text{ mg/L}$ 。每 7 d 对养殖水体消毒 1 次(溴碘类消毒剂,其中添加 3%  $V_C$  和 1%  $V_E$ ),采用虹吸法换水 1 次,实验过程中各处理组的死虾不捞出,每次换水为总水体的 25%,所用水为砂滤自然海水。

#### 1.4 采样及测定方法

每 7 d 测定 1 次对虾体长、体质量及水温(T)、盐度、溶解氧(DO)含量、氨态氮(TAN)、亚硝态氮( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、无机磷( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、总氮(TN)、总磷(TP)和总颗粒悬浮物(TSS)含量。水温、盐度和 DO 含量借助 YSI 556 型水质分析仪测定;TSS 含量采用重量法测定(GB98);TAN 采用靛酚蓝分光光度法测定(GB98); $\text{NO}_2\text{-N}$  采用萘乙二胺分光光度法测定(GB98); $\text{NO}_3\text{-N}$  采用锌镉还原法测定(GB98); $\text{PO}_4\text{-P}$  采用磷钼蓝分光光度法测定(GB98);TN 和 TP 采用过硫酸钾法测定<sup>[10]</sup>。

实验结束时排水收虾,记录存活数目,计算存活率。同时,每池随机取对虾 10 尾;每池的 4 个池壁分别取有代表性的  $1 \text{ dm}^2$  面积内的全部附着物;从池底取有代表性的  $1 \text{ dm}^2$  面积内的全部底层沉积物,重复 3 次。分别称重后于  $80^\circ\text{C}$  烘箱中烘至恒重,连同对虾饵料一并测定氮磷含量。N 含量借助德国产 Elementar VarioEL III 元素分析仪测定;P 含量采用高氯酸消解 ICP 法测定。

#### 1.5 数据分析

结果以平均值  $\pm$  标准差 ( $\bar{X} \pm \text{SD}$ ) 表示。应用 SPSS 11.5 和 Excel 2003 软件对实验数据进行统计分析,采用 one-way ANOVA 方法进行方差分析,利用 Bi-variate 过程分析相关性,应用 OriginPro 7.5 软件作图。当  $P < 0.05$  时认为差异显著,  $P < 0.01$  时差异极显著。

### 2 结果与分析

#### 2.1 养殖密度对对虾生长和存活率的影响

图 1 是对虾的生长曲线图。从图 1 可以看出,各处理组对虾体长均随养殖时间不断增加,整个实验期间,不同处理组对虾体长由大到小依次为  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 。实验结束时,4 个处理对虾体长分别为  $5.03 \text{ cm}$ 、 $4.47 \text{ cm}$ 、 $4.28 \text{ cm}$  和  $4.13 \text{ cm}$ ,各处理间差异达到显著水平 ( $P = 0.012$ )。

$D_1 \sim D_4$  处理的对虾存活率分别为 77%、74%、63% 和 53%, $D_1$  与  $D_2$  间差异不显著 ( $P = 0.479$ ),其余各处理间差异均极显著 ( $P < 0.01$ )。说明,随养

殖密度的增加,对虾存活率降低。

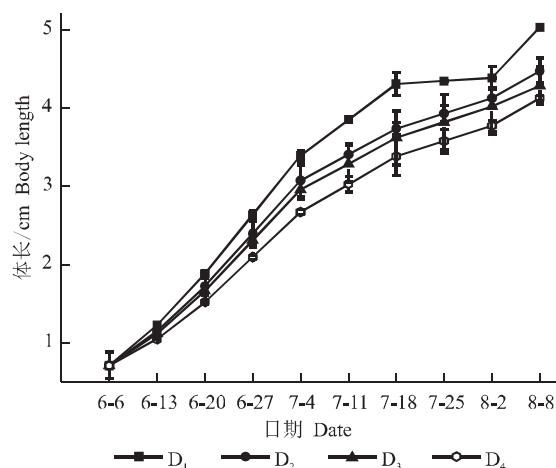


图 1 养殖密度对凡纳滨对虾生长的影响

Fig.1 Effects of stocking density on growth in *Litopenaeus vannamei*

#### 2.2 主要水质因子的变化

实验期间所测定的各水质因子均在对虾生长的安全阈值内。其中,水温和盐度的变化范围分别为  $19.5 \sim 26.5^\circ\text{C}$  和  $29.7 \sim 31.5$ ;各处理 TAN 浓度整体呈上升趋势,变化范围为  $0.01 \sim 0.35 \text{ mg/L}$ ,实验后期(7月18日以后), $D_3$ 和 $D_4$ 处理的 TAN 浓度迅速升高,而 $D_1$ 和 $D_2$ 处理变化不明显,整个实验期间 TAN 浓度由高到低依次为  $D_4$ 、 $D_3$ 、 $D_2$ 、 $D_1$ ;  $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度的变化范围为  $0.01 \sim 0.06 \text{ mg/L}$ ,实验前期(6月27日以前), $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度变化不明显,之后急剧升高,7月18日后除 $D_1$ 和 $D_2$ 处理7月25日突然降低外,各处理  $\text{NO}_2\text{-N}$  浓度变化不明显,且均维持在较高水平; $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度的变化范围为  $0.01 \sim 0.56 \text{ mg/L}$ ,除 $D_3$ 和 $D_4$ 处理在6月27日和7月4日较高外,其他时期各处理均维持在较低水平,且处理间差异不明显 ( $P > 0.05$ );  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度的变化范围为  $0.01 \sim 0.09 \text{ mg/L}$ ,各处理整体呈现上升趋势,实验中后期维持在较高水平 ( $0.03 \sim 0.09 \text{ mg/L}$ )。

#### 2.3 样品的 N、P 含量

不同处理间池壁附着物、底泥及收获虾的氮磷含量差异不明显 ( $P > 0.05$ ),表 1 列出了它们的平均值。从表 1 可以看出,样品氮含量由高到低依次为收获虾、放入虾、饵料、底泥、池壁附着物。样品磷含量由高到低依次为底泥、饵料、收获虾、放入虾、池壁附着物。可以看出,收获虾的氮和磷含量高于放入虾,说明对虾体内的氮磷含量在养殖过程中有所增加。

表1 固体样品的N、P含量

Tab.1 Nitrogen and phosphorus contents of solid specimen

 $\bar{X} \pm SD; \%$ 

| 指标<br>Parameter | 饵料<br>Feedstuff | 池壁附着物<br>Inserted matter | 底泥<br>Bottom mud | 放入虾<br>Stocking shrimp | 收获虾<br>Harvested shrimp |
|-----------------|-----------------|--------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| N含量 N content   | 6.5±0.1         | 5.7±0.2                  | 6.2±0.3          | 9.9±0.3                | 10.5±0.2                |
| P含量 P content   | 1.0±0.0         | 0.5±0.0                  | 1.1±0.1          | 0.6±0.0                | 0.7±0.2                 |

## 2.4 养殖密度对氮输入的影响

从表2可以看出,各处理通过水层投入到养殖系统的氮元素均为27.0 g,占系统总氮投入量的3.6%~13.8%,其比重随养殖密度的增加而降低( $P<0.05$ )。饵料氮投入量为总氮投入量的84.3%~98.3%,比重随养殖密度的增加而升高,两者存在

极显著的正相关关系( $r=0.986$   $D=0.058$ )。放入虾所含氮为总氮投入量的1.9%~2.9%,除D<sub>3</sub>与D<sub>4</sub>外,其他处理间差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。结果说明,在氮投入中饵料占最大比重,其次是进水,最后是放入虾。

表2 养殖密度对氮输入的影响

Tab.2 Effects of stocking density on nitrogen

 $\bar{X} \pm SD; g$ 

| 指标 Parameter        | D <sub>1</sub>                  | D <sub>2</sub>                  | D <sub>3</sub>                  | D <sub>4</sub>                  |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 水层 Water floor      | 27.0±0.3 <sup>a</sup> (13.8%)   | 27.0±0.3 <sup>b</sup> (9.3%)    | 27.0±0.3 <sup>c</sup> (6.0%)    | 27.0±0.3 <sup>d</sup> (3.6%)    |
| 饵料 Feedstuff        | 164.8±19.4 <sup>a</sup> (84.3%) | 257.0±29.1 <sup>b</sup> (88.2%) | 410.6±44.6 <sup>c</sup> (91.2%) | 747.0±47.0 <sup>d</sup> (98.3%) |
| 放入虾 Stocking shrimp | 3.7±0.0 <sup>a</sup> (1.9%)     | 7.4±0.7 <sup>b</sup> (2.6%)     | 12.6±0.4 <sup>c</sup> (2.8%)    | 21.7±0.3 <sup>c</sup> (2.9%)    |
| 总投入量 Total input    | 195.6±10.2                      | 291.5±18.4                      | 450.2±32.1                      | 759.7±41.2                      |

注:括号内的数值为该项目占总量的百分数,同一行中标有不同字母的数字之间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The percentages of parameters were listed in brackets. Values donated by different superscript letters in the same line are significantly different ( $P<0.05$ ).

## 2.5 养殖密度对氮输出的影响

实验中氮输出途径包括水层(含排水)、底泥、池壁附着物、收获虾和“其他”5部分。由表3可见,水层氮输出占总氮输出的27.5%~36.3%,且比重随养殖密度的增加而增加( $P<0.05$ )。通过底泥沉淀的氮占总氮输出的30.9%~43.9%,除D<sub>3</sub>与D<sub>4</sub>外,其他处理间差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。池壁附着物的氮含量占总氮输出的比重相对较低,为0.3%~3.2%,且随养殖密度的增加而降低( $P<$

0.05)。通过收获虾输出的氮为总氮输出的14.5%~28.7%,随养殖密度增加呈现降低趋势,除D<sub>1</sub>与D<sub>2</sub>外,其他处理间差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。“其他”是指总氮投入中扣除上述4项输出途径外剩余的部分,占总氮输出的2.3%~9.7%,各处理组所占比重由大到小依次为D<sub>1</sub>、D<sub>4</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>,且差异达显著水平( $P<0.05$ )。结果表明,底泥和水层输出是氮输出最主要的途径,对虾氮利用率也达到了较高的水平,三者占到总输出的87%以上。

表3 养殖密度对氮输出的影响

Tab.3 Effects of stocking density on nitrogen output

 $\bar{X} \pm SD; g$ 

| 指标 Parameter          | D <sub>1</sub>                | D <sub>2</sub>                  | D <sub>3</sub>                  | D <sub>4</sub>                  |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 水层 Water floor        | 53.8±2.4 <sup>a</sup> (27.5%) | 87.1±2.8 <sup>b</sup> (29.9%)   | 146.4±12.4 <sup>c</sup> (32.5%) | 275.7±29.6 <sup>d</sup> (36.3%) |
| 底泥 Bottom mud         | 60.5±8.9 <sup>a</sup> (30.9%) | 104.4±11.1 <sup>b</sup> (35.8%) | 197.6±30.4 <sup>c</sup> (43.9%) | 320.6±18.4 <sup>c</sup> (42.2%) |
| 池壁附着物 Inserted matter | 6.3±0.8 <sup>a</sup> (3.2%)   | 6.1±0.3 <sup>b</sup> (2.1%)     | 3.6±0.3 <sup>c</sup> (0.9%)     | 2.3±0.3 <sup>d</sup> (0.3%)     |
| 收获虾 Harvested shrimp  | 56.2±1.1 <sup>a</sup> (28.7%) | 81.5±5.0 <sup>a</sup> (27.9%)   | 91.6±7.3 <sup>b</sup> (20.4%)   | 109.8±11.7 <sup>c</sup> (14.5%) |
| 其他 Others             | 18.9±1.8 <sup>a</sup> (9.7%)  | 12.4±1.0 <sup>b</sup> (4.3%)    | 11.0±1.2 <sup>c</sup> (2.3%)    | 51.4±6.5 <sup>d</sup> (6.7%)    |

注:括号内的数值为该项目在总量中的百分数,同一行中标有不同字母的数字之间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The percentages of parameters were listed in brackets. Values donated by different letters in the same line are significantly different ( $P<0.05$ ).

## 2.6 养殖密度对磷输入的影响

从表4可以看出,各处理通过进水输入到养殖系统的磷元素均为1.2 g,为总磷投入的1.3%~5.7%,其比重随养殖密度的增加而降低( $P<0.05$ )。饵料磷投入为总磷投入量的93.2%~

97.3%,其比重随养殖密度的增加而升高,除D<sub>3</sub>与D<sub>4</sub>外,其他处理间差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。放入虾所含磷为总磷投入的1.1%~1.5%,处理间差异不显著( $P>0.05$ )。结果表明,饵料投入占磷投入的最主要部分,其次是进水,最后是放入虾。

表4 养殖密度对磷输入的影响

Tab.4 Effects of stocking density on phosphorus input

$\bar{X} \pm SD; g$

| 指标 Parameter        | D <sub>1</sub>                | D <sub>2</sub>                | D <sub>3</sub>                | D <sub>4</sub>                |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 水层 Water floor      | 1.2±0.1 <sup>a</sup> (5.7%)   | 1.2±0.1 <sup>b</sup> (3.7%)   | 1.2±0.1 <sup>c</sup> (2.1%)   | 1.2±0.1 <sup>d</sup> (1.3%)   |
| 饵料 Feedstuff        | 19.0±1.4 <sup>a</sup> (93.2%) | 30.2±0.6 <sup>b</sup> (94.9%) | 53.0±2.4 <sup>c</sup> (96.4%) | 89.1±4.7 <sup>c</sup> (97.3%) |
| 放入虾 Stocking shrimp | 0.2±0.0 <sup>a</sup> (1.1%)   | 0.5±0.0 <sup>a</sup> (1.4%)   | 0.9±0.0 <sup>a</sup> (1.5%)   | 1.3±0.1 <sup>a</sup> (1.5%)   |
| 总投入量 Total input    | 20.4±1.0                      | 31.8±2.9                      | 55.0±1.0                      | 91.6±2.5                      |

注:括号内的数值为该项目在总量中的百分数,同一行中标有不同字母的数字之间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The percentages of parameters were listed in brackets. Values donated by different letters in the same line are significantly different ( $P<0.05$ ).

## 2.7 养殖密度对磷输出的影响

从表5可以看出,水层磷输出为总磷输出的8.4%~23.9%,且随养殖密度的增加而降低( $P<0.05$ )。底泥沉淀的磷为总磷输出的51.5%~62.3%,除D<sub>3</sub>与D<sub>4</sub>外,其他处理间差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。池壁附着物的磷含量占总磷输出的比重相对较低,为0.2%~3.0%,且随养殖密度

的增加而降低( $P<0.05$ )。收获虾的含磷量为总磷的7.4%~16.5%,表现出随养殖密度增加而降低的趋势,除D<sub>1</sub>与D<sub>2</sub>外,其他处理间差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。“其他”输出为总磷输出的5.1%~23.2%。结果说明,底泥沉淀是磷输出中最主要的部分,其次是水层,对虾磷利用率也达到了较高的水平(7.4%~16.5%)。

表5 养殖密度对磷输出的影响

Tab.5 Effects of stocking density on phosphorus output

$\bar{X} \pm SD; g$

| 指标 Parameter          | D <sub>1</sub>                | D <sub>2</sub>                | D <sub>3</sub>                | D <sub>4</sub>                |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 水层 Water floor        | 4.9±0.4 <sup>a</sup> (23.9%)  | 5.8±0.0 <sup>b</sup> (18.4%)  | 6.3±0.1 <sup>c</sup> (11.5%)  | 7.7±0.4 <sup>d</sup> (8.4%)   |
| 底泥 Bottom mud         | 10.5±1.5 <sup>a</sup> (51.5%) | 18.1±1.9 <sup>b</sup> (56.9%) | 34.3±5.3 <sup>c</sup> (62.3%) | 55.6±3.2 <sup>c</sup> (60.7%) |
| 池壁附着物 Inserted matter | 0.6±0.1 <sup>a</sup> (3.0%)   | 0.6±0.0 <sup>b</sup> (1.9%)   | 0.4±0.0 <sup>c</sup> (0.6%)   | 0.2±0.0 <sup>d</sup> (0.2%)   |
| 收获虾 Harvested shrimp  | 3.4±0.2 <sup>a</sup> (16.5%)  | 5.0±0.1 <sup>a</sup> (15.7%)  | 6.3±0.5 <sup>b</sup> (11.4%)  | 6.8±1.0 <sup>c</sup> (7.4%)   |
| 其他 Others             | 1.0±0.1 <sup>a</sup> (5.1%)   | 2.3±0.1 <sup>b</sup> (7.2%)   | 7.8±0.2 <sup>c</sup> (14.2%)  | 21.3±2.9 <sup>d</sup> (23.2%) |

注:括号内的数值为该项目在总量中的百分数,同一行中标有不同字母的数字之间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The percentages of parameters were listed in brackets. Values donated by different letters in the same line are significantly different ( $P<0.05$ ).

## 3 讨论

### 3.1 养殖密度、水质因子与对虾生长的关系

关于养殖密度和水质因子对对虾生长的影响国内外报道较多。养殖密度的增加往往导致对虾生长速度和存活率的降低及水质的恶化<sup>[11-15-16]</sup>。本实验中,对虾的生长和存活率也表现出随养殖密度增加而降低的趋势,这与前人的结果一致。TAN和NO<sub>2</sub>-N被认为是影响水生生物生长和存活的主要水质因子<sup>[5]</sup>。本实验中,各处理组TAN浓度由高

到低依次为D<sub>4</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>1</sub>,尤其到了实验后期,两高养殖密度实验组(D<sub>3</sub>和D<sub>4</sub>)的TAN浓度迅速升高,显著高于两低养殖密度实验组(D<sub>1</sub>和D<sub>2</sub>);各处理NO<sub>2</sub>-N浓度均从7月4日开始迅速升高,D<sub>1</sub>和D<sub>2</sub>处理7月25日突然降低,而D<sub>3</sub>和D<sub>4</sub>一直维持在较高水平。是否实验后期持续较高的TAN浓度和NO<sub>2</sub>-N浓度是导致D<sub>3</sub>和D<sub>4</sub>两处理的生长率和存活率降低的主要原因,还有待进一步验证。

### 3.2 养殖密度与氮磷收支的关系

本实验中,随养殖密度的增加,饵料对总氮磷投



入量的贡献率显著提高,这与 Martin 等<sup>[11]</sup>、Briggs 等<sup>[4]</sup>和 Thakur 等<sup>[5]</sup>的报道一致。前人报道表明,在对虾集约化养殖系统中,来自饵料投入的氮磷含量一般为总氮磷投入量的 82%~95% 和 38%~91%<sup>[4-5]</sup>,低于本实验的结果(表 2,表 3)。这可能与本实验设置的养殖密度较高,加之总氮投入中未考虑浮游植物的固氮作用有关。

Teichert-Coddington 等<sup>[12]</sup>报道,对虾养殖系统中水层是氮磷输出的主要形式。有报道表明,氮磷在底泥中的沉积是物质输出的主要形式,分别占总输出的 14.1%~64.6% 和 33.8%~91.2%<sup>[4,5,7]</sup>。本实验中,水层氮磷的输出量分别为总氮磷输出的 27.5%~36.3% 和 8.4%~23.9%,底泥沉积的氮磷含量分别为总氮磷含量的 30.9%~43.9% 和 51.5%~60.7%。说明,在系统氮磷的总输出中,水层和沉积都占到了相当的比重。同时,养殖密度增加会在一定程度上降低水层和提高底泥沉积的氮磷含量,这与 Briggs 等<sup>[4]</sup>、Thakur 等<sup>[5]</sup>和齐振雄等<sup>[7]</sup>的结果相一致。但本实验中底泥沉淀的氮磷输出量低于,水层氮磷输出量高于上述报道,其原因可能是由于本实验所用养殖池塘为无底泥玻璃钢水槽,加之水体小、水位低,与传统的具底泥土池相比存在易二次悬浮、不易沉淀的特点,抑制了氮磷的持续沉淀。

本实验中,总氮磷的投入中有 14.5%~28.7% 的氮和 7.4%~16.5% 的磷最终转化为对虾生物量,这与 Briggs 等<sup>[4]</sup>和 Thakur 等<sup>[5]</sup>报道的结果相一致。Thakur 等设置了 25 尾/m<sup>3</sup>和 50 尾/m<sup>3</sup>两个养殖密度,发现氮磷转化效率在养殖密度间无显著差异,认为养殖密度不会影响氮磷的转化效率。本实验设置了 300 尾/m<sup>3</sup>、600 尾/m<sup>3</sup>、1 200 尾/m<sup>3</sup>和 1 800 尾/m<sup>3</sup> 4 个养殖密度,分析发现 300 尾/m<sup>3</sup>和 600 尾/m<sup>3</sup>处理组间转化效率无差异,但这两个处理组与 1 200 尾/m<sup>3</sup>、1 800 尾/m<sup>3</sup>间差异显著,表现出随养殖密度增加而降低的趋势。可能是因为本实验中设置的养殖密度较高,导致高密度处理组的对虾死亡率较高,此外饵料投喂过量,部分饵料不能被摄食,从而降低了高密度处理的氮磷转化效率。是否养殖密度较低时(低于 600 尾/m<sup>3</sup>)对虾的氮磷转化效率与养殖密度的关系不密切,养殖密度较高时氮磷转化效率随养殖密度的增加而降低,还有待于进一步探讨。

对虾养殖的氮磷收支分析中涉及到池壁附着物

的报道较少。本实验中,池壁附着物中积累的氮磷量在总氮磷输出中所占比重较小,分别为 0.3%~3.2% 和 0.2%~3.0%,且比重随养殖密度的增加而降低。另外,“其他”部分分别为总氮磷输出量的 2.3%~9.7% 和 5.1%~23.2%,这与 Thakur 等<sup>[5]</sup>报道的范围相似。Daniels 等<sup>[13]</sup>和 Thakur 等<sup>[5]</sup>对未知氮的解释是部分氮以氨气和(或)脱氮作用从系统逃逸。Body<sup>[14]</sup>报道底泥对磷具有很好的亲和力,认为未知磷很可能被底泥所吸附。Thakur 等<sup>[5]</sup>发现,水泥池养殖系统的未知氮磷在总氮磷输出中所占的比重高于泥底系统,认为可能是因为对虾收获排水时部分底泥随废水流失而引起未知部分增加,也可能是因为养殖过程中连续充气在一定程度上加速了氮的逃逸。

#### 参考文献:

- [1] Wang J K. Managing shrimp pond water to reduce discharge problems[J]. Aquac Eng, 1990, 9: 61-73.
- [2] Hopkins J S, Hamilton II R D, Sandifer P A, et al. Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budget of intensive shrimp ponds [J]. J World Aquac Soc, 1993, 24: 304-320.
- [3] Shang Y C, Leung P, Ling B H. Comparative economics of shrimp farming in Asia [J]. Aquaculture, 1998, 164: 183-200.
- [4] 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.
- [5] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems [J]. Aquac Eng, 2003, 27: 159-176.
- [6] 施正峰,梅志平,罗其智,等.日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究[J].水产学报,1994,18(3):191-197.
- [7] 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.
- [8] Funge-Smith S J, Briggs M P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability [J]. Aquaculture, 1998, 164: 117-133.
- [9] 游奎.对虾工程化养殖系统重要元素及能量收支[D].北京:中国科学院研究生院,2005,6.
- [10] 赵卫红,焦念志,赵增霞.海水中总氮和总磷的同时测定[J].海洋科学,1999,5: 64-66.
- [11] Martin J L M, Veran Y, Guelorget O, et al. Shrimp rearing: stocking density, growth impact on sediment, waster output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds [J]. Aquaculture, 1998, 164: 135-149.
- [12] Teichert-Coddington D R, Martinez D, Ram rez E. Partial nutrient budgets for semi-intensive shrimp farms in Honduras [J]. Aquaculture, 2000, 190: 139-154.

- [13] Daniels H V, Boyd C E. Pond bottom degradation [J]. Coastal Aquaculture, 1988, 5: 2 – 5.
- [14] Boyd C E. Chemical budgets for channel catfish ponds [J]. Trans Am Fish Soc, 1985, 114: 292 – 298.
- [15] Allan G L, Maguire G B. Effects of stocking density on production of *Penaeus monodon* Fabricius in model farming ponds [J]. Aquaculture, 1992, 107: 49 – 66.
- [16] Li Y Q, Li J, Wang Q Y. Effects of dissolved oxygen concentration and stocking density on growth and non-specific immunity factors in Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* [J]. Aquaculture, 2006, 256: 608 – 616.

## Effect of stocking density on input and output of nitrogen and phosphorus in super-intensive shrimp farming pond

LI Yu-quan<sup>1,2</sup>, LI Jian<sup>2</sup>, WANG Qing-yin<sup>2</sup>, ZHANG Hai-yan<sup>1</sup>

(1. Qingdao Agricultural University, Qingdao 266019, China; 2. Key Laboratory for Sustainable Utilization for Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** In this study, four shrimp stocking densities were designed which were 300、600、1 200 and 1 800 shrimps per m<sup>3</sup> respectively, to analyze the effects of stocking density on input and output of nitrogen and phosphorus. The experiment lasted for 63 days. The results showed that 84.3% – 98.3% nitrogen and 93.2% – 97.3% phosphorus of total input were from feed, and the proportion increased with stocking density. The major outputs of nitrogen and phosphorus were sediment (30.9% – 43.9% and 51.5% – 60.7%) and water exchange (27.5% – 36.3% and 8.4% – 23.9%). Nutrient budget showed that only 14.5% – 28.7% nitrogen and 7.4% – 16.5% phosphorus of the total input were transformed into harvested shrimp finally. The proportion increased with stocking density reducing. The minor outputs of nitrogen (0.3% – 3.2%) and phosphorus (0.2% – 3.0%) were from the matters attached on pond walls, and the proportion reduced with stocking density increasing. The results indicated that the nitrogen and phosphorus inputs and outputs were significantly different among stocking densities. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (6): 926 – 931]

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; stocking density; super-intensive farming; nitrogen and phosphorus budget

**Corresponding author:** WANG Qing-yin. E-mail: qywang@public.qd.sd.cn