

养殖密度和换水量及频率对凡纳滨对虾生长的影响

马贵范^{1,2}, 郭文学³, 王玲玲^{1,2}, 刘晓燕^{1,2}, 刘振华^{1,2}

(1 威海海洋职业学院, 山东 荣成 264300;

2 威海市微藻种质资源开发工程技术研究中心, 山东 荣成 264300;

3 荣成海洋与渔业局, 山东 荣成 264300)

摘要:在 26 ℃ 下, 将体长(2.089 ± 0.021) cm 的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)饲养在 15 L 聚乙烯圆形水桶中, 设置 400 尾/m³ 和 800 尾/m³ 2 个密度和 5 个换水条件(不换水、日换水量 20 %、日换水量 50 %、3 d 全量换水、5 d 全量换水)双因素处理, 研究不同养殖密度和日换水条件对水质和凡纳滨对虾幼虾生长的影响, 并根据养殖密度、日换水量及养殖天数对自污染因子的影响, 建立了各污染指标与养殖密度、日换水量及养殖天数的回归关系模型。结果显示: 养殖密度和日换水量对水体 pH 无显著性影响($P > 0.05$); 水中 NO₂⁻-N、NH₄⁺-N 及 COD 浓度均随换水量增大而降低, 其中日换水量 50% 组累积量最低, 显著低于其他组($P < 0.05$); 3 d 全量换水和 5 d 全量换水试验组中, NO₂⁻-N、NH₄⁺-N 及 COD 浓度在换水前达峰值, 在换水次日骤降至最低值, 然后逐渐升高, 如此循环, 但仍低于对照组; 相同换水条件下, 密度 400 尾/m³ 时自污染因子浓度均低于 800 尾/m³ 组; NO₂⁻-N(Y_1)、NH₄⁺-N(Y_2) 和 COD(Y_3) 浓度指标与养殖密度(X_1)、日换水量(X_2) 及养殖天数(X_3) 的回归关系模型分别为: $Y_1 = 0.048 - 0.002X_2 - 0.001X_3$; $Y_2 = 0.163 + 0.04X_1 - 0.018X_2 + 0.01X_3$; $Y_3 = 4.85 + 0.429X_1 - 0.199X_2$ 。研究表明: 在养殖密度 400 尾/m³、换水率 50% 的养殖条件下, 可以保证水体自污染程度最低, 凡纳滨对虾生长良好。

关键词: 南美白对虾; 养殖密度; 换水频率; 自污染

中图分类号: S967.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-9580(2018)04-021-07

自污染是指在水产养殖过程中, 残饲、粪便和动物尸体等有机物分解产生氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)和硫化氢(H₂S)等有害物质而恶化养殖水体水质, 甚至引起病害发生的现象^[1], 尤其是在换水量低、养殖密度高或封闭式循环水养殖系统中, 自污染已成为影响养殖生物生长与存活的限制因素之一^[2-6]。近年来水产养殖的自污染现象受到越来越多的重视。

自污染主要通过以下途径危害水生生物: 1) 污染因子直接损伤机体组织, 如有机污染可导致中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)鳃、肝胰腺、中肠黏膜等组织病变^[7]; 2) 污染因子使动物易于感染疾病, 增加死亡率, 如氨氮、亚硝酸盐氮胁迫可提高水产动物对病原体的易感性和死亡率^[10], 硫化物可导致凡纳滨对虾组织缺氧, 器官

功能紊乱^[11]; 3) 污染因子影响生长, 如受氨氮、亚硝酸盐氮长期胁迫的中国明对虾体长明显小于对照组, 大多数个体活动及自净能力下降, 适应性差^[10]。夏苏东等^[11]研究自污染因子对虾蟹健康的影响及其机理与控制, 指出氨氮、亚硝酸盐氮、硫化物是虾蟹类养殖中主要胁迫因素; 蒋克勇等^[12]对大菱鲆的研究表明, 水生动物营养物质代谢终产物主要为氮排泄物(氨和尿素)和磷排泄物(磷酸盐), 而排泄物量与所摄取的饲料中氮和磷含量有密切的关系, 即养殖水体的污染很大程度上由残余饲料引起^[13]。因此, 要降低水体中的污染因子, 就要减少有机物的积累。而减少有机物的积累, 应从营养与饲料以及生态养殖入手, 减少排泄和饲料浪费, 合理控制养殖密度及换水比例, 定期检测各项水质指标和营养盐类的含量, 科

收稿日期: 2018-05-31

基金项目: 山东省海洋与渔业科技创新计划项目“浅海多营养层次养殖模式的构建及养殖容量的研究(2017YY26)”；威海市科学技术发展计划项目“耐高温角毛藻的培育技术优化及水产育苗中的应用技术研究(2016GGX025-2)”

作者简介: 马贵范(1987—), 女, 讲师, 硕士, 研究方向: 水生生物繁育、水质检测分析等。E-mail: 490867812@qq.com

通信作者: 刘振华(1965—), 男, 教授, 研究方向: 微藻、水生生物繁育等。E-mail: liuzhuhua@163.com

学干预和降低自污染对水产经济动物的影响。

本研究进行了不同密度与换水量的养殖试验,研究了养殖密度、日换水量及两者的交互作用对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)自污染与生长的影响,以探明养殖密度、日换水量与凡纳滨对虾自污染之间的关系,并根据养殖密度、日换水量对自污染水质指标(氨氮、亚硝酸盐氮、pH、COD)的影响程度,构建了凡纳滨对虾养殖密度和日换水量与自污染水质指标的关系模型。通过应用该模型来指导换水、合理投饲等,准确判断凡纳滨对虾自污染程度及危险等级,及时采取管理措施,防止疫情险情发生,为凡纳滨对虾的健康养殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

凡纳滨对虾幼苗来自青岛虾苗标粗场,平均体长(2.089 ± 0.021) cm,试验在全封闭循环水实验室进行。试验前将虾苗在 100 L 水槽(长 75 cm × 宽 50 cm × 深 40 cm)中暂养 1 周。暂养用水采用过滤海水与自来水调配,盐度控制在 12‰,用 512ATC 手持折光仪测定和校正盐度,经充分曝气后使用。用大连汇新钛设备开发有限公司 HXSWT-301 多功能电脑温控仪,水浴控制养殖容器水温在 26 ℃。每天全量换水 1 次,投喂虾苗专用高级虾片 1 次,采用水族用微孔气石连续充气,做好清除残饵及粪便等日常管理。

1.2 方法

试验设两个密度组:400 尾/ m^3 和 800 尾/ m^3 ,分别记为 A 组和 B 组;每个组下设置 1 个对照组(日换水量为 0)和 4 个实验组(日换水量 20%、

日换水量 50%、3 d 全量换水 1 次、5 d 全量换水 1 次),记为 A_0 、 $A_{20\%/d}$ 、 $A_{50\%/d}$ 、 $A_{100\%/3d}$ 、 $A_{100\%/5d}$ 和 B_0 、 $B_{20\%/d}$ 、 $B_{50\%/d}$ 、 $B_{100\%/3d}$ 、 $B_{100\%/5d}$ 。每个试验组设置 3 个重复。

试验用养殖容器为 15 L 聚乙烯圆形水桶,每桶放虾苗 4 尾或 8 尾。试验期间,每天 8:00 按照试验设置进行换水、清除残饲及粪便等,统计死亡率。换水前,每个试验组取水样 50 mL,按照《GB 海洋监测规范》^[12],测定氨氮(NH_4^+-N)、亚硝酸盐氮($NO_2^- - N$)、化学需氧量(COD)等水质指标。用 pH400 型精密酸度测定 pH。每天 10:00 和 16:00 按虾苗体质量的 3% ~ 5%,投喂用 200 目网袋揉搓后的虾苗专用高级虾片,其他水质控制及养殖管理同 1.1 节,试验前后测量各试验组对虾体长指标各 1 次。整个试验持续 11 d。

1.3 数据处理

试验数据用 SPSS17.0 进行统计分析,Microsoft Excel 2013 绘图,并分别建立各污染指标间与养殖密度、日换水量及养殖天数的关系模型。

2 结果

2.1 养殖密度与日换水量和环境因子的关系

2.1.1 自污染过程中 pH 的变化

图 1 表明,在整个养殖过程中,各试验组水的 pH 变化在 7.8 ~ 8.2,离散程度较小,符合凡纳滨对虾养殖水质要求。统计分析表明,不同的养殖密度和日换水量对水体 pH 影响不显著($P > 0.05$),说明对虾养殖过程中,自污染对水体酸碱环境影响较小。

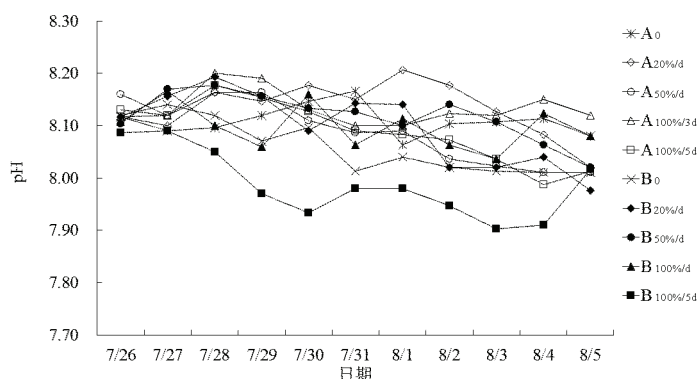


图 1 凡纳滨对虾养殖水体中 pH 的变化

Fig. 1 Changes of pH in aquaculture water of *Litopenaeus vannamei*

2.1.2 自污染过程中 NO_2^- -N 的变化

图2表明,不同密度对养殖水体 NO_2^- -N 的影响规律基本相同,即 NO_2^- -N 随换水量的增加而显著降低 ($P < 0.05$)。换水率为 100%/3d 组和 100%/5d 组,换水前 NO_2^- -N 质量浓度达到峰值,换水后次日质量浓度骤降至最低值,然后逐渐升高,但仍低于对照组,如此循环。其中,20%/d 组从养殖第3天起, NO_2^- -N 质量浓度基本稳定在

0.036 mg/L 左右; 50%/d 组的积累量最低 (0.0294 ± 0.0063) mg/L, 显著低于 20%/d、100%/3d 和 100%/5d 组 ($P < 0.05$)。整个试验过程中,随着养殖周期的延长,对照组的 NO_2^- -N 质量浓度呈增加趋势,显著高于其他处理组 ($P < 0.05$)。在相同的换水条件下,养殖密度为 400 尾/ m^3 组 NO_2^- -N 质量浓度低于养殖密度 800 尾/ m^3 组,说明养殖密度越大,凡纳滨对虾自污染程度越高。

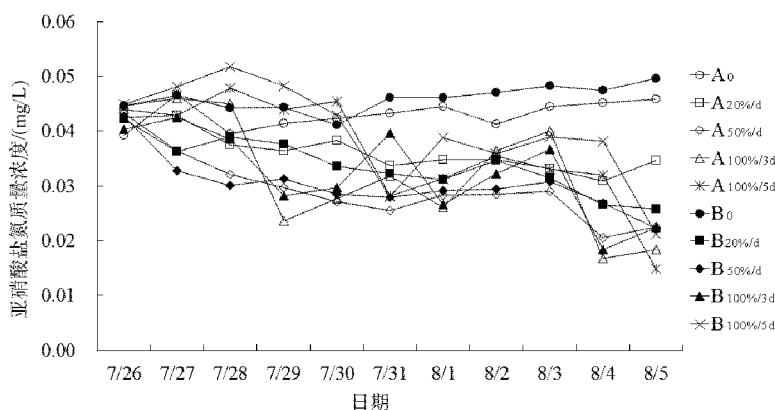


图2 凡纳滨对虾养殖水体中 NO_2^- -N 质量浓度的变化

Fig. 2 Changes of NO_2^- -N concentration in aquaculture water of *Litopenaeus vannamei*

2.1.3 自污染过程中 NH_4^+ -N 的变化

图3表明,不同密度对养殖水体氨氮质量浓度影响规律基本相同。养殖前3~4 d,各试验组的 NH_4^+ -N 不断积累,最大可达到 0.45 mg/L ($\text{B}_{100\%/3d}$),此后,随着换水量的增加而显著降低 ($P < 0.05$)。其中,50%/d 组的 NH_4^+ -N 质量浓

度最低,基本稳定在 0.15 ~ 0.20 mg/L,其次是 20%/d 组,维持在 0.20 ~ 0.25 mg/L 范围内; 100%/3d 和 100%/5d 组在换水前 NH_4^+ -N 积累到峰值,换水后次日骤降至最低值,之后缓慢升高,但仍低于对照组,如此循环,这与 NO_2^- -N 的变化规律一致。

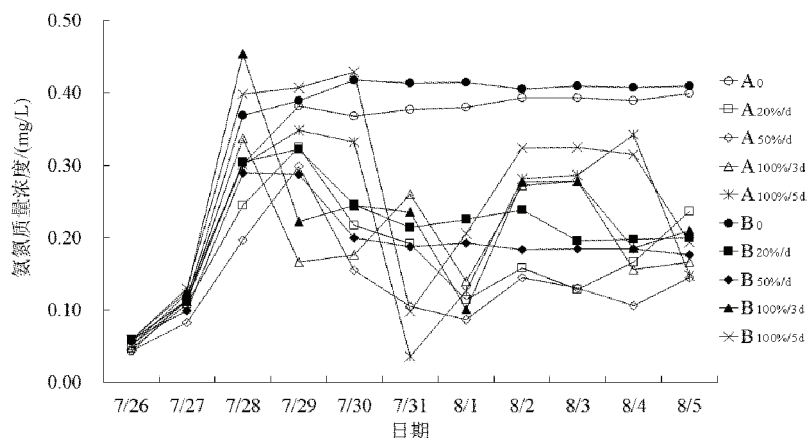


图3 凡纳滨对虾养殖水体中氨氮质量浓度的变化

Fig. 3 Changes of NH_4^+ -N concentration in aquaculture water of *Litopenaeus vannamei*

整个试验过程中,随着养殖时间的延长,对照组的 NH_4^+-N 先迅速积累到 0.38 mg/L 后,逐渐增加,但增幅逐渐降低。统计分析表明,对照组的 NH_4^+-N 显著高于试验组 ($P < 0.05$)。在相同的换水条件下,养殖密度 $800 \text{ 尾}/\text{m}^3$ 的氨氮累积量高于 $400 \text{ 尾}/\text{m}^3$,说明养殖密度对凡纳滨对虾水体中 NH_4^+-N 影响较大。

2.1.4 自污染过程中 COD 的变化

图 4 表明,不同养殖密度对养殖水体 COD 的影响规律基本相同,即随着换水量的增加,COD 显著降低 ($P < 0.05$)。其中,50%/d 组的 COD 积

累量最低,20%/d 组次之,但二者差异不显著 ($P > 0.05$);100%/3d 组和 100%/5d 组,换水时间间隔越长,COD 值波动越大,全量换水后次日 COD 值发生跃变,达到最低值之后不断升高,但显著低于对照组 ($P < 0.05$),如此循环。在养殖期间,对照组的 COD 随着养殖时间的延长不断积累,达到 6 mg/L 以上,显著高于试验组 ($P < 0.05$),说明换水是控制水体自污染的有效途径之一。在相同的换水条件下,养殖密度 $800 \text{ 尾}/\text{m}^3$ 组的 COD 累积量高于 $400 \text{ 尾}/\text{m}^3$ 组,说明养殖密度对凡纳滨对虾水体中 COD 的影响较大。

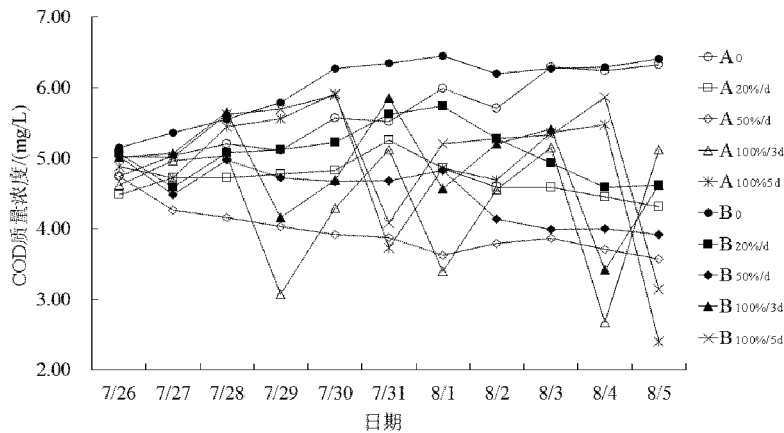


图 4 凡纳滨对虾养殖水体中 COD 的变化

Fig. 4 Changes of COD in aquaculture water of *Litopenaeus vannamei*

2.1.5 凡纳滨对虾养殖密度和日换水量与自污染水质指标关系模型的构建

以自污染各水质指标 (NO_2^--N 设为 Y_1 、 NH_4^+-N 设为 Y_2 、COD 设为 Y_3) 为因变量,养殖密度 (X_1)、日换水量 (X_2) 及养殖天数 (X_3) 为自变量构建关系模型,得到回归方程如下:

$$Y_1 = 0.048 - 0.002X_2 - 0.001X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.163 + 0.04X_1 - 0.018X_2 + 0.01X_3 \quad (2)$$

$$Y_3 = 4.85 + 0.429X_1 - 0.199X_2 \quad (3)$$

回归方程表明,养殖密度与 NH_4^+-N 、COD 呈正相关,养殖密度越大, NH_4^+-N 与 COD 自污染越严重,但对 NO_2^--N 自污染程度影响不大;日换水量与 NO_2^--N 、 NH_4^+-N 及 COD 呈负相关,即日换水量越小, NO_2^--N 、 NH_4^+-N 与 COD 自污染程度越严重,且日换水量对 COD 贡献最大,其次是

NH_4^+-N ,最后是 NO_2^--N 。从上述模型不难看出,降低养殖密度或增加换水量是降低凡纳滨对虾养殖自污染的有效途径。虽然养殖天数影响亚硝酸盐氮和氨氮,但贡献力较低。

2.2 养殖密度和日换水量对凡纳滨对虾存活与生长的影响

由表 1 看出,相同的换水条件和 12 d 养殖后,密度 $400 \text{ 尾}/\text{m}^3$ 组凡纳滨对虾的存活率、生长率明显高于密度 $800 \text{ 尾}/\text{m}^3$ 。前者,虾的存活率均为 100%,50%/d 组生长最快,其次是 20%/d 组,而 100%/3d 与 100%/5d 组增长量相同,均优于对照组;后者,虾的存活率在 87.5% ~ 95% 范围内,50%/d 组生长最快,其次是 100%/3d,之后分别是 20%/d、100%/5d,各组生长情况均优于对照组。

表1 不同养殖密度和日换水量时凡纳滨对虾的存活与生长

Tab. 1 Survival and growth of *Litopenaeus vannamei* at various culturing densities and daily water exchange volume

组别	平均始长/cm	平均终长/cm	平均增长/cm	存活率/%
A ₀	2.089 ± 0.021	2.736 ± 0.052	0.647 ^{ab}	100
A _{20%/d}	2.089 ± 0.021	2.911 ± 0.051	0.822 ^{de}	100
A _{50%/d}	2.089 ± 0.021	3.345 ± 0.084	1.256 ^f	100
A _{100%/3d}	2.089 ± 0.021	2.872 ± 0.019	0.783 ^{cde}	100
A _{100%/5d}	2.089 ± 0.021	2.872 ± 0.103	0.783 ^{cde}	100
B ₀	2.089 ± 0.021	2.682 ± 0.031	0.593 ^a	87.5
B _{20%/d}	2.089 ± 0.021	2.836 ± 0.021	0.747 ^{bcd}	95.83
B _{50%/d}	2.089 ± 0.021	2.979 ± 0.040	0.880 ^e	95.83
B _{100%/3d}	2.089 ± 0.021	2.869 ± 0.095	0.780 ^{cde}	91.67
B _{100%/5d}	2.089 ± 0.021	2.784 ± 0.074	0.695 ^{abc}	87.5

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 凡纳滨对虾自污染的水质特点

水质直接影响养殖虾类的生存、生长和发育,良好的水质是水产养殖的首要条件。本试验中,在凡纳滨对虾自污染过程中,除 pH(7.8 ~ 8.2)无明显差异外,其他自污染因子变化规律大致相似,但又有各自的特点。1) 只要换水,NO₂⁻-N 就会降低,降幅取决于日换水量,日换水量越大,降幅越大,反之则越低;而对照组 NO₂⁻-N 则一直处于积累状态,达到一定程度后,积累速度明显降低。其原因是 NO₂⁻-N 的来源是 NH₄⁺-N 的转化,随着养殖周期的延长,水中有机物含量越多,利于硝化细菌的繁殖,将 NH₄⁺-N 氧化为 NO₂⁻-N,最终维持相对稳定。2) 凡纳滨对虾排出的粪便和代谢产物中含氮废物,使水中氮污染逐渐增加。对照组 NH₄⁺-N 随养殖周期的延长逐渐升高,而 20%/d 组与 50%/d 组 NH₄⁺-N 先上升(养殖 4 d 内)后逐渐降低并保持稳定,100%/3d 组与 100%/5d 组在换水次日 NH₄⁺-N 达到最低值,后缓慢升高,这说明 NH₄⁺-N 是逐渐累积的,换水是快速降低 NH₄⁺-N 的有效方法。3) COD 作为衡量水体污染的重要指标,马建新等^[15]认为水体中 COD 太高是引起对虾病毒爆发及流行的主要原因之一,当 COD 长时间超过 13 mg/L 时,对虾容易感染病毒。本试验养殖 11 d 内,随着换水量的增加,COD 显著降低($P < 0.05$)。虽然各组 COD 均在安全范围内,但对照组的 COD 随着养殖天数

的延长缓慢升高,第 11 天已接近 7 mg/L,显著高于试验组($P < 0.05$)。说明在凡纳滨对虾养殖过程中应准确掌握养殖密度和换水量,减少养虾废水的自身污染,有效预防对虾病的暴发流行。

3.2 养殖密度和日换水量对凡纳滨对虾存活和生长的影响

养殖密度和日换水量是影响水生生物生长的重要因素^[16-17],养殖密度增大,群体内的竞争加剧,对个体摄食产生负面影响^[18],从而影响生长。而养殖过程中换水可以改善养殖生物的环境条件,尽量维持海水的理化性质^[19]有助于虾类生长。但养殖密度过低或换水量过大会增加养殖成本,反之则排泄物及残饵积累在水中,难以保持良好的水质而影响对虾生长。因此,合适的养殖密度与换水量对凡纳滨对虾养殖非常重要。本研究中,各试验组凡纳滨对虾体长增加各不相同,生长阶段的幼虾在不同养殖密度、不同换水量条件下的生长为异速生长。凡纳滨对虾的生长与密度成负相关,与日换水量呈正相关,这与孙学亮等^[20]关于半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis* Gunther)、张天时等^[21]关于中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和肖鸣鹤等^[22]关于克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的研究结果相似。综合考虑凡纳滨对虾的存活与生长,养殖密度 400 尾/m³、日换水量 50% 较为适宜,养殖密度 400 尾/m³、日换水量 20% 次之。

3.3 最优养殖方式的选择

目前,对水生动物自污染的研究多以 NH₄⁺-N、

NO_2^- -N 等水质指标的变化为主要评价指标。本研究中,换水量和养殖密度通过 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、COD 等污染因子作用于凡纳滨对虾。各组自污染指标 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N 及 COD 均随着换水量的增加而降低,其中 50% 组均优于其他组,虽然 100%/3d 与 100%/5d 两组换水后,次日达到最低值,但各理化指标变化剧烈,不利于养殖生物的健康生长,不是理想的选择。每日换水的各试验组生长存活指标也与日换水量呈正相关关系。养殖密度越大,自污染越严重,越不利于凡纳滨对虾的健康生长。虽然增加换水量或降低养殖密度有利于凡纳滨对虾生长发育,但从经济效益多方面综合考虑,生产中并不是换水量越大或养殖密度越低越好。综合本试验结果,认为密度 400 尾/ m^3 、日换水 50% 是凡纳滨对虾仔虾的合理养殖方式。从各水质指标与养殖密度、日换水量及养殖天数关系模型来看,缩短养殖天数能够有效缓解 NO_2^- -N 和 NH_4^+ -N 等污染因子的影响。所以在生产实际中,当对虾生长到所需规格后,及时出售是规避养殖风险、提高养殖效益的理性选择。

4 结论

本试验结果显示,在凡纳滨对虾幼虾养殖阶段,在养殖密度 400 尾/ m^3 、换水率 50% 的养殖条件下,水体自污染程度最低,生长较好。因此,有条件的养殖单位在凡纳滨对虾幼虾养殖阶段应保证养殖密度和换水率。□

参考文献

- [1] 李建,姜令绪,王文琪,等. 氨氮和硫化氢对日本对虾幼体的毒性影响[J]. 上海水产大学学报,2007,16(1): 22-27.
- [2] 杨凤,雷衍之,王仁波,等. 皱纹盘鲍自污染及其对幼鲍生长及成活率的影响[J]. 大连水产学院学报,2003,18(1): 1-6.
- [3] 李蒙蒙,郭巧生,史红专,等. 不同养殖密度和换水频率对蚂蟥生长和内在品质影响的研究[J]. 中国中药杂志,2016,41(6):995-1000.
- [4] 杭小英,周志明,李倩,等. 不同养殖模式对南美白对虾生长、病害发生与水质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(5): 191-193.
- [5] ATSE B C, KONAN K J, ALLA Y L, et al. Effect of Rearing Density and Feeding Regimes on Growth and Survival of African Catfish, *Heterobranchius longifilis* (Valenceinnes, 1840) Larvae in a Closed Recirculating Aquaculture System[J]. Journal of Applied Aquaculture,2009,21(3):183-195.
- [6] SKOV P V, KATRINE B L, FRISK M, et al. Effects of rearing density and water current on the respiratory physiology and haematology in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* at high temperature [J]. Aquaculture,2011,7(8):446-452.
- [7] 丁美丽,林林,李光友. 有机污染对中国对虾体内外环境影响的研究[J]. 海洋与湖沼,1997,28(1):7-12.
- [8] SHIKAVUOPIO S I. Effect of chronic nitrite exposure on growth in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* [J]. Aquaculture,2006,255(1): 351-356.
- [9] KANG J C, MASTSUDA O. Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide on early developmental stages of white shrimp *Metapenaeus monaceros* [J]. Journal of the Faculty of Applied Biological Science Hiroshima University,1994,33(1):21-27.
- [10] 吴中华,刘昌斌,刘存仁,等. 中国对虾慢性亚硝酸盐和氨中毒的组织病理学研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),1999,33(1): 119-122.
- [11] 夏苏东,李勇,王文琪,等. 养殖自污染因子对虾蟹健康的影响及其机理与控制[J]. 水产科学,2009,28(6):355-360.
- [12] 蒋克勇,李勇,李军,等. 大菱鲆幼鱼蛋白质的生态营养需要量探寻[J]. 海洋科学,2005,29(9):65-70.
- [13] 陈伟珍,林轩,杨桂珍,等. 湛江港沙湾对虾养殖场虾池水质状况分析[J]. 水产科学,2004,23(10):12-15.
- [14] 国家海洋局. 海洋监测规范 [M]. 北京:海洋出版社,2007: 101-115.
- [15] 马建新,刘爱英,宋爱芹. 对虾病毒病与化学需氧量相关关系研究[J]. 海洋科学,2002,26(3):68-71.
- [16] 张曦文,吴垠,贺茹靖,等. 循环水养殖模式下养殖密度对青石斑鱼生长及生理指标的影响[J]. 大连海洋大学学报,2012,27(6): 518-523.
- [17] 高淳仁,王印庚,雷霖霖,等. 不同放养量与水交换率对大菱鲆幼鱼的养殖效果及水质条件的影响[J]. 海洋水产研究,2004,25(4):23-28.
- [18] SAWCER S J, MARANIAN M, SINGLEHURST S, et al. Enhancing linkage analysis of complex disorders: an evaluation of high density genotyping [J]. Human Molecular Genetics, 2004,13(17):1943-1949.
- [19] 王光玉,姜佳惠,祝楠,等. 换水率和密度对刺参生长和水质的影响[J]. 渔业现代化,2017,44(6):55-62.
- [20] 孙学亮,杨树元,陈成勋,等. 不同密度对半滑舌鳎生长和血液生化指标的影响[J]. 东北农业大学学报,2012,43(6): 100-105.
- [21] 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.
- [22] 肖鹤鸣,肖英平,吴志强,等. 养殖密度对克氏原螯虾幼虾生长、消化酶活力和生理生化指标的影响[J]. 水产学报,2012,36(7): 1088-1093.

(下转第 48 页)