

海水观赏鱼居室养殖循环系统中三态氮的变化规律及硝化细菌对水质的影响

蔡生力¹ 于 纬² 谢 菁³

(上海水产大学生命与科学技术学院, 农业部水产种质资源
及养殖生态重点开放实验室, 上海市 200090)

摘 要 于2005年3月5日~5月3日连续监测了海水观赏鱼居室养殖循环系统的水质, 研究该系统中三态氮的变化规律以及添加硝化细菌后对水质的影响。结果表明: 1) 试验初期氨氮的质量分数迅速上升, 在1周内达到高峰(峰值2.56 mg/L), 并在1.50 mg/L的范围内维持1周左右, 此后迅速下降至0.01 mg/L左右, 并一直维持在该水平直至试验结束。亚硝态氮的质量分数在氨氮的质量分数迅速回落时(约试验开始后2周)呈现出直线上升的趋势, 并在3~3.5 mg/L左右的水平上维持2~3周时间(峰值为3.65 mg/L), 此后迅速下降至0.01 mg/L以下, 并一直维持在低水平直至试验结束。而硝酸盐的质量分数在整个试验期间基本保持稳定上升的趋势, 至本试验末期, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的质量分数达到15 mg/L左右。2) 系统的生物滤器需要4~5周左右时间才能基本成熟, 即氨氮和亚硝酸氮均降至<0.01 mg/L, 到达安全的质量分数, 适合海水观赏鱼健康生长。3) 添加硝化细菌的试验组, 氨氮和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的质量分数变化与对照组基本相似, 而 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的质量分数变化与对照组明显不同。试验组从高质量分数水平迅速下降的时间比对照组提前了约1周。

关键词 水循环系统 氨氮 亚硝酸氮 硝酸盐 硝化细菌 海水观赏鱼

Variations of $\text{NH}_3 - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in Water Recirculating System for Marine Ornamental Fish Culture in Living - Room and Effects of Nitrifiers on the Water Quality

CAI Sheng - li¹ YU Wei² XIE Jing³

(Key and Open Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology (AGRA) Certificated by the Ministry of Agriculture, College of Aqua - Life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract The studies on the Variations of $\text{NH}_3 - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in closed water re - circulating system for marine ornamental fish culture in living - rooms or offices and effects of nitrifiers added on the water quality were carried out. The results are summarized as follows: (1) The concentration of $\text{NH}_3 - \text{N}$ increased rapidly from the beginning of the experiment, and reached the maximum of 2.56 mg/L on the first week, then it began to drop quickly to about 1.50 mg/L, and maintained the level about 1 week, and then it decreased further to about 0.01 mg/L till the end of the experiment. At the time of the concentration of $\text{NO}_2^- - \text{N}$ rose rapidly, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ fell

收稿日期: 2005 - 06 - 17; 修回日期: 2005 - 07 - 20

作者简介: 蔡生力(1957 -), 男, 教授, 从事海洋生物繁殖与发育生物学及海水养殖技术研究。

项目资助: 香港康乐基金资助。

(two weeks after the start of experiment) and came to the maximum of 3.65 mg/L on the 4th week. Keeping the level about 2 – 3 weeks, it decreased quickly till about 0.01 mg/L, and remained at the level to the end of the experiment. The concentration of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ went up steadily from the beginning to the end of the experiment. (2) It needed about 4 – 5 weeks to be matured for the re – circulating system in which ammonia and nitrite – N reached to the safety level, and the ornamental fish could live healthily. (3) The concentration of $\text{NH}_3 - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ between the control and the trial in which nitroifiers were added showed no difference, but the rapid decline of $\text{NO}_2^- - \text{N}$ concentration from higher level (3 mg/L) in trial group happened 1 week earlier than that in control group.

Key words Water re – circulating system $\text{NH}_3 - \text{N}$ $\text{NO}_2^- - \text{N}$ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ Nitrofier Marine ornamental fish

近年来,随着人们生活水平的提高,具有欣赏价值并且象征吉祥如意的观赏鱼逐渐为市民所喜爱,使得观赏鱼产业迅速发展,尤其是海水观赏鱼,以其品种多、色彩艳丽而得到众多观赏鱼爱好者的青睐,成为家庭或办公室观赏鱼养殖的新宠。

然而,在居室(家庭或办公室)内养殖海水观赏鱼仍存在许多难题,如因对许多海水观赏鱼的生活习性了解甚少,加上饲养环境的复杂多变,常常出现莫名其妙的死亡。另外,在居室海水观赏鱼养殖中,海水的取用、配制也是一个问题,对离海较远的城市尤其突出。运输新鲜自然海水不仅不方便,还耗费人力和物力;而利用盐卤或海水晶配制的人工海水,则往往质量较差,或价格昂贵。

因此,循环水系统已成为养殖海水观赏鱼的必备装置。在整个循环水处理系统中,生物过滤起着关键作用。生物过滤的主角是硝化细菌,它在一个系统中的成熟度直接影响着养殖生物的健康生长。刚建立的系统中,通常硝化细菌的生长率比较低,不具备足够的硝化能力,硝化细菌需要较长的时间方能成熟。水产养殖生产上,一般认为生物滤器能有效地将氨氮氧化成亚硝态氮,最终氧化成硝酸盐,在 21 ~ 26 °C 时,这一过程需要 28 ~ 60 天^[1~3]。

为探讨海水观赏鱼居室养殖循环系统的水质变化规律及添加硝化细菌对整个系统中三态氮变化的影响,本试验设置了一套类似家庭或办公室养殖观赏鱼的海水循环系统,对其水质进行了为期 60 天的连续监测和分析,重点研究三态氮的变化规律,旨在为居室养殖海水观赏鱼提供有价值的参考依据。

1 材料和方法

1.1 海水配制

从上海观赏鱼市场购买美国产“queen”牌海水晶,用自来水配制海水,盐度 25。

1.2 硝化细菌的来源及用量

购自上海观赏鱼市场,“希瑾”牌,加拿大产。

试验组自试验第一天起,连续 10 天每天添加硝化细菌 50 mL;之后则每 5 天添加一次,共添加 4 次,总添加量为 700 mL。

1.3 水质指标

水温:25 ± 1 °C;盐度:25;pH:7.6;溶解氧: > 5 mg/L

1.4 试验水族缸及循环系统设置

本次试验设有试验组(添加硝化菌)和对照组(不加硝化菌)两个循环系统,每组有三个玻璃水族缸。水族缸的大小为 70 cm × 50 cm × 50 cm,缸底铺珊瑚砂。过滤缸大小为 60 cm × 90 cm × 30 cm。

试验组和对照组均为单独的循环系统,养殖水经出水口流出,在过滤池口汇合。为使硝化细菌有足够的繁殖空间和良好的生长基质,循环水依次通过生化棉、珊瑚砂和陶瓷环、珊瑚砂、活性炭,然后再由水泵泵出,分别流入各养殖缸中。

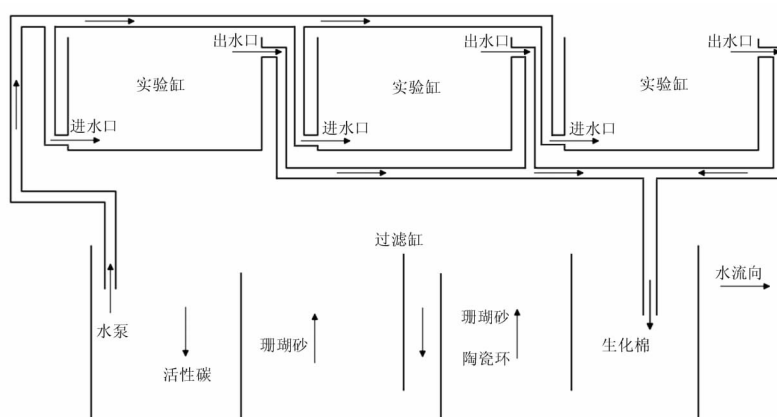


图1 海水观赏鱼水循环系统草图

1.5 三态氮的检测

自试验第1天起,每天分别从试验组和对照组中定点取水样,进行三态氮的检测(每组水样各2份,计平均值)。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 用锌铬还原-重氮偶氮法测定, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 用苯酚次氯酸盐法测定, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 用萘乙二胺分光光度法测定^[4],为期60天。

1.6 负载生物量

为使系统内有一定量的有机质,利于硝化系统成熟,并直观观察系统三态氮的变化情况,试验组和对照组中分别放入生物量大致相当的海水观赏鱼(黑白龙 *hemigymnus* sp.)和清洁虾(鞭藻虾 *Lysmata amboinen-sis*),并根据生物的生存情况稍作调整。

2 结果

2.1 系统中三态氮的变化趋势

2.1.1 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的变化趋势

由图2可知,无论试验组还是对照组,试验初期系统中氨氮的质量分数上升迅速,在第3~4天达到峰值。试验组质量分数达到2.60 mg/L后回落至约1.50 mg/L,并维持1周左右,之后迅速下降至0.1 mg/L以下。到第2周末第3周初,氨氮降到0.01 mg/L,此后一直保持低水平(<0.01 mg/L)。

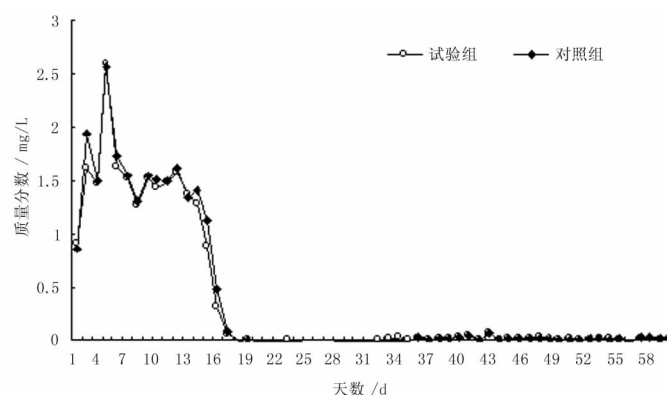
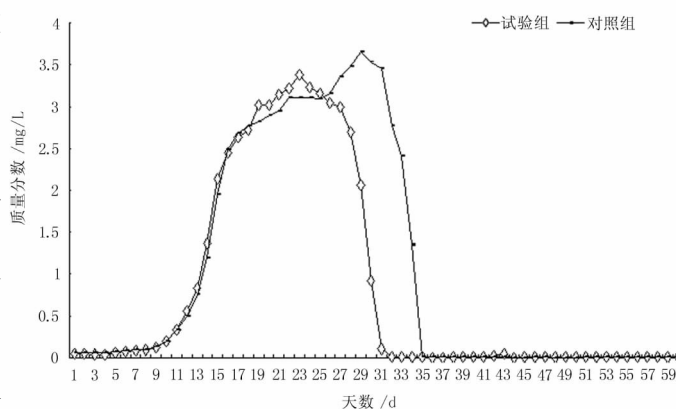
对照组和试验组中氨氮的变化趋势基本一致,没有明显差异。

2.1.2 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的变化趋势

由图3可知,试验组中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 在试验开始后的2周内一直维持在较低水平(<

表1 试验组和对照组的生物量负载

时间	对照组	试验组
第1~3周	观赏鱼(7尾, ± 20 g/尾) 清洁虾(15尾, ± 0.5 g/尾)	观赏鱼(7尾, ± 20 g/尾) 清洁虾(15尾, ± 0.5 g/尾)
第4~9周	观赏鱼(6尾, ± 20 g/尾)	观赏鱼(7尾, ± 20 g/尾)

图2 试验组和对照组中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的质量分数变化图3 试验组和对照组中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的质量分数变化

0.15 mg/L),之后开始迅速上升,最高达到 3.38 mg/L。在3.0 mg/L左右维持2周后迅速降至0.01 mg/L,以后一直维持在该水平。

对照组中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的变化,前期(试验的前4周)和后期(第6周后)与试验组基本一致,仅在第5周,大约有1周时间,两组中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 质量分数的变化差异很大,试验组已迅速降至0.01 mg/L的水平,而对照组此时却继续上升至3.65 mg/L,并维持在大约3.5 mg/L的水平,以后才迅速下降,下降时间比试验组推迟了约1周。

2.1.3 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化趋势

由图4可知, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化呈缓慢稳定的直线上升趋势。本次试验中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的质量分数最高达到19.02 mg/L。

对照组的变化趋势大致与试验组一致,只是质量分数始终低于试验组,其最大值为17.67 mg/L(但对两组平均值进行t-检验,差异没有显著性)。

2.2 系统中养殖生物的生存状况

对照组的养殖生物在试验开始2周后,其状态出现不良变化:清洁虾在蜕壳后断须的较多,游泳减少,多为爬行,情况严重的蜕壳后无法站立,陆续死亡,累计约死去2/3,故在试验第3周将余下的清洁虾移走。

添加硝化菌的试验组自试验开始后,2周内仅个别清洁虾死亡,总体情况稳定。而进入第3周后也开始出现死亡,此时接近试验组亚硝酸盐的峰值,为减少损失,在第3周也将清洁虾移出。

从两组试验看,养殖缸中生物的生长状况与亚硝酸盐的质量分数关系更为密切,清洁虾的死亡基本上都发生在亚硝酸盐含量的高峰期。但试验组清洁虾的死亡时间要比对照组推迟1周左右。

3 讨论

3.1 三态氮的变化规律

养殖水体中的无机态氮主要以氨氮、亚硝态氮及硝酸盐形式存在。经过60天的试验,对照组三态氮质量分数的变化情况如图5所示。

试验初期(第1周)氨氮迅速上升,达到峰值(2.56 mg/L),随后降至1.50 mg/L左右,并维持1周,之后迅速下降,并一直保持较低水平(<0.01 mg/L)。添加硝化菌的试验组,氨氮的变化规律与对照组基本相似。显然,氨氮在整个系统中的负面作用基本局限于试验初期的2周左右,以后影响很小。

亚硝态氮质量分数的变化与氨氮密切相关,其规律是在氨氮开始迅速下降的同时(第2周末,第3周始),亚硝态氮迅速上升,并在3.0~3.5 mg/L的较高范围内维持2周(试验组)或3周(对照组)。之后迅速下降至0.01 mg/L,并一直保持在低水平直至试验结束。

试验期间,硝酸盐呈缓慢而又稳定的上升趋势。硝态氮对养殖生物毒性较小,因此,尽管后期硝酸盐的质量分数达到19.02 mg/L(试验组)和17.67 mg/L(对照组),但循环系统内的养殖生物生长正常。

从本次试验结果可以看出,海水观赏鱼的居室养殖循环系统大约需要4~5周时间达到成熟, $\text{NH}_3 -$

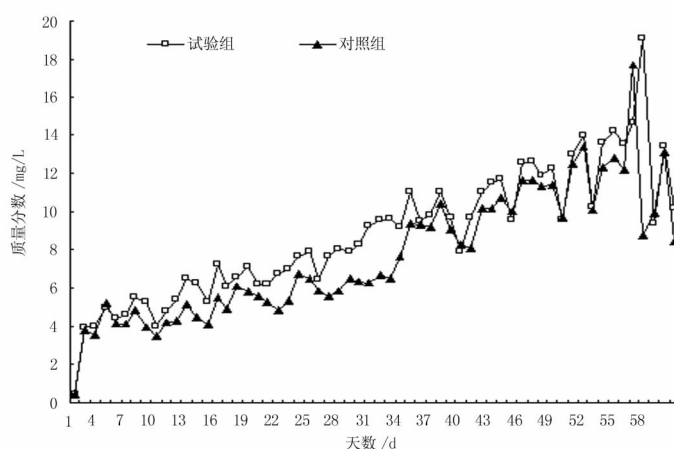


图4 试验组与对照组中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的质量分数变化

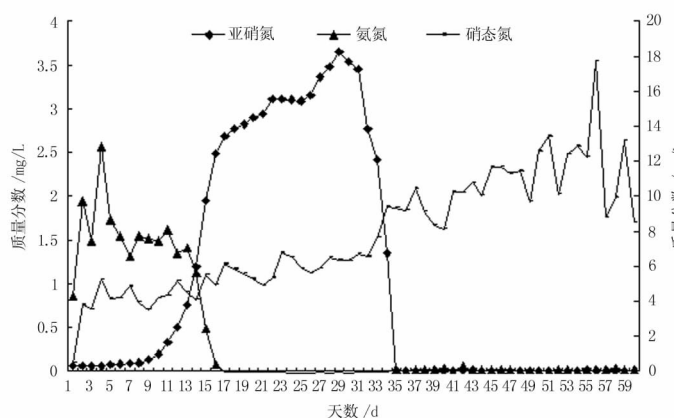


图5 试验期间对照组的三态氮变化

N 和 NO_2^- -N 均降到 0.01 mg/L, 达到或低于安全质量分数范围 (NH_3 -N < 0.1 mg/L, NO_2^- -N < 0.1 mg/L)^[5], 适合养殖生物的生长, 因而, 此时养殖缸内可以放入观赏鱼进行养殖。Hirayama^[3] 认为经过生物过滤后, 水中亚硝态氮的含量在早期急剧上升后转而急剧下降, 意味着滤料中的生物膜已形成, 滤床已成熟, 滤器已具备了良好的净化能力, 这一过程通常需要 40 ~ 60 天时间^[6], Forste^[2], Horse^[5]、山形阳一^[6] 等的研究结果也与此基本相似。

3.2 添加硝化细菌对循环系统水质的影响

在添加硝化细菌的试验组中, 氨氮质量分数的变化趋势与对照组相似, 其原因可能是时间较短, 所添加的硝化菌还未及形成优势种, 在氨氮达到峰值的 2 周内对氨氮氧化所起的作用较小。另外也可能与所添加的硝化菌的数量和品质有关。

然而, 添加硝化细菌对于亚硝态氮的变化影响较为明显。到达峰值的时间以及下降至安全质量分数的时间均提前 1 周左右, 而且在 3.0 mg/L 左右高水平维持的时间比对照组缩短了 1 周左右。 NO_2^- -N 的降解转化是水质净化的关键因素^[9], 其含量下降至安全水平, 意味着滤料中的生物膜已形成, 滤床已成熟, 滤器已具备了良好的净化能力。本次试验中, 清洁虾的死亡主要发生在亚硝态氮的质量分数处于高峰期间, 也证明了这一点。不少作者的研究结果表明, 亚硝态氮降至安全质量分数这一过程通常需要 40 ~ 60 天时间^[6], 而我们此次试验的结果是, 添加硝化菌需要 4 周, 不加硝化菌需要 5 周。这种差异可能是添加的硝化细菌的种类、数量, 以及养殖缸的容积及其循环速率的大小各不相同之故。硝化细菌用量的大小可能对系统的成熟影响更大。由于受试验条件所限, 本研究未能设置多组对比试验, 进一步的研究尚待以后进行。

3.3 几点建议

3.3.1 观赏鱼的放养时间

本研究的结果表明, 一个新建立的家庭或办公室海水观赏鱼养殖循环系统, 其生物滤器需要 4 ~ 5 周时间才能成熟(氨氮和亚硝态氮的质量分数下降至安全水平)。因此, 观赏鱼的放养时间最好在系统开始运转后的 5 周左右。若添加硝化菌, 则可提前 1 周放养。

3.3.2 缩短系统生物滤器熟化时间的改善措施

如果系统在运转过程中有一定的生物负载, 便可以加快滤器成熟。初期, 可以放一些对养殖环境耐受能力比较强的海水观赏鱼如三点白、三间雀、蓝魔鬼等。待硝化细菌成为优势种以后, 氨氮和亚硝态氮的指标都趋于正常时, 再根据爱好放入一些对水质环境要求比较高的观赏鱼、虾。

另外, 养殖水体中适当添加一些营养盐也有助于系统的成熟。在新的水族箱中, 每天加入适量的氯化铵或硫酸铵, 可以加快硝化作用系统的建立^[7]。江敏也指出, 对生物滤器进行接种, 保持 pH 的稳定并提供一定质量分数的氮源和碳源, 有利于滤器的早日熟化^[8]。然而, 以上方法存在一定弊端。如添加氮源可能造成藻类的疯长, 不仅影响水族箱的美观, 严重时还会破坏水族箱内的生态平衡。因此, 在选择缩短生物滤器熟化的措施时, 需要慎重。

参考文献

- 1 罗国芝等. 新建海水生物滤器接种培养的研究. 农业环境保护, 2001, 20(6): 443 ~ 446.
- 2 Forste J. R. M.. Studies on nitrification in marine biological filters[J]. Aquaculture, 1974(4): 387 ~ 397.
- 3 Hirayama K.. Water control by filtration in closed system[J]. Aquaculture, 1974(12): 369 ~ 385.
- 4 陈佳荣. 水化学试验指导书. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- 5 Horse E. Kipper. 最完美的海水水族箱(中译本). 台湾: 观赏鱼杂志社, 1992.
- 6 山形阳一(梅志平译). 循环过滤设备的维护和管理. 水产科技情报, 1991, 18(2): 58 ~ 60.
- 7 江敏等. 简易生物滤器及微生物制剂对罗氏沼虾育苗水处理效果研究. 水产科技情报, 2002, 29(3): 105 ~ 109.
- 8 孙国铭等. 海水循环式养殖系统 NH_3 -N、 NO_2^- -N 转化及水质管理. 水产养殖, 1999(4): 12 ~ 14.

发稿编辑 汤惠明