

对虾海水高密度养殖后期水质因子的昼夜变化规律

李奕雯, 李卓佳, 曹煜成, 文国樑, 刘孝竹

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

摘要: 2008年7月5~6日, 对广东汕尾红海湾对虾养殖场养殖87~88 d的海水高密度半封闭养殖虾池水质进行每4 h监测分析, 旨在了解养殖后期昼夜水质变化状况, 为合理和即时调控养殖后期水质提供相关理论数据。结果显示, 24 h内水质指标除化学需氧量(COD)和无机氮(DIN)基本稳定外, 其他因子均有较大波动。其中氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 在3:00达到高峰, 5:00落至低谷, 9:00又达到高峰; 亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^-\text{-N}$)的变化却相反, 在3:00落至低谷, 5:00达到高峰, 9:00又落至低谷; pH和溶解氧(DO)均在5:00降至最低, 13:00上升到最高。结果表明, 3:00~9:00是虾池水质变动的关键时期, 应留意水质变化, 适时采取合理增氧措施并投洒相应水质调节剂以提高 $\rho(\text{DO})$, 减少 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 产生及降低其毒性。

关键词: 对虾养殖; 水质; 周日变化

中图分类号: S 917

文献标志码: A

文章编号: 1673-2227-(2010)06-0026-06

Diurnal variation of water quality factors in late period of intensive seawater shrimp culture

LI Yiwen, LI Zhuojia, CAO Yucheng, WEN Guoliang, LIU Xiaozhu

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: On July 5~6, 2008, we carried out a survey on the intensive semi-enclosed seawater shrimp ponds at Honghai Bay, Shanwei, Guangdong which had cultured shrimps for 87~88 d, monitoring the water quality every 4 h to study the diurnal variation of water quality in the late culture period and to provide theoretical reference for a reasonable, instant water quality regulation for that period. Results show that most water quality factors have an obvious diurnal variation except COD and DIN. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ peaks at 3:00 and 9:00 and bottoms at 5:00 while $\text{NO}_2^-\text{-N}$ bottoms at 3:00 and 9:00 and peaks at 5:00. Both pH and DO bottom at 5:00 and peak at 13:00. Therefore, the water quality changes quickly during 3:00~9:00, and it is important to pay attention to the variation and take measures such as adding water quality regulator to increase DO value, and to reduce the production of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and their toxicity.

Key words: shrimp culture; water quality; diurnal variation

收稿日期: 2010-04-27; 修回日期: 2010-05-31

资助项目: 现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金(NYCYTX-46); 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A07, 2007BAD29B06); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2010YD05); 国家自然科学基金项目(30800851); 公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-042, 200803012); 广东省科技计划项目(2009B020201001); 广东省科技计划国家重大科技项目匹配资助项目(粤科函财字[2009]627号); 广东省海洋渔业科技推广专项(A200899A06); 广东省鱼病防治专项(2130108)

作者简介: 李奕雯(1983-), 女, 硕士, 从事水环境调控研究。E-mail: yvetten-lee@163.com

通讯作者: 李卓佳, E-mail: zhuojiali609@163.com

在**高密度对虾养殖模式下,水环境突变及水质恶化是制约对虾正常生长的关键因子。随着养殖时间的增加,浮游微藻达到一定细胞数量,会出现投入的饲料量大,水交换量少,水体酸化,环境负荷大,水质因子受天气影响波动频繁,特别是在天气恶劣的夜间易出现溶解氧和 pH 迅速下降、养殖代谢产物循环不畅、养殖水体中氨氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 和亚硝酸盐氮 ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) 等有害物质迅速积累等情况,当其质量浓度达到一定值时,会对对虾产生直接毒害^[1],短时间内可导致对虾大量死亡,而长时间生长在低氧、偏酸和有害氮 (N) 质量浓度高的环境中对虾容易发生多种疾病,从而影响其生长^[2],甚至造成严重的经济损失。良好的水体环境是水产养殖生产取得成功的基础。关于对虾养殖池中水质因子与微藻、对虾生长的研究已有报道,但对对虾池养殖水质因子昼夜变化的相关研究则较为鲜见。文章通过 24 h 连续采样监测,着重分析养殖后期水体理化环境因子的昼夜变动规律,提出控制的关键因子和关键节点,旨在为调控改善养殖水环境因子提供相关的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验场地与条件

于广东省汕尾市红海湾田乾镇东洲(东经 115.32°,北纬 22.43°)选取 3 个海水集约化高密度养殖池塘,编号为 1[#]、2[#]、3[#]池,养殖凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*),每个池塘面积均为 0.43 hm²,水深 1.8~2.3 m。2008 年 4 月 9 日投放虾苗进行养殖,投苗密度 135×10⁴尾·hm⁻²,养殖过程机械增氧,定期投放芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、光合细菌 (photosynthetic bacteria) 和乳酸菌 (*Lactobacillus*) 等有益菌,适当投放浮游微藻营养素、增氧剂和抗应激调控剂,实行有限量添换水,科学投喂配合饲料。选取气温稳定、天气无剧烈变化的 7 月 5~6 日进行采样分析。

1.2 样品的采集与处理

分别于 1:00、3:00、5:00、9:00、13:00、17:00 和 21:00 这 7 个时间节点在 3 个池塘采集水样,采样水层 50 cm。采样时现场测定溶解氧 (DO)、水温和盐度,用有机玻璃柱状采水器在池塘 4 个角落定量采集水样 2 L,混均水样于 4 h 内分析测定 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、硝酸盐氮 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)、

磷酸盐 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 和化学需氧量 (COD)。

1.3 检测方法

现场采用 PHB-1 型便携式 pH 计测定 pH 值, Thermo Orion 型号 810 便携式溶氧仪测定 DO, 型号 WYY-II 便携式折射盐度计测量盐度。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 和 COD 按照国家相关标准测定^[3]。

2 结果与分析

2.1 水体盐度和温度变化

测定了 3 个养殖池 24 h 内盐度和水温(表 1)。盐度最高 27,出现在 1[#]池 13:00 时,最低 23,出现在 2[#]池 21:00 和 1:00 这 2 个时刻,各池盐度昼夜波动不超过 3,且受蒸发量影响白天多高于夜间;水温 3 个池相差不大,最高为 2[#]池 21:00 时的 32.8℃,最低为 2[#]池 17:00 时的 30.6℃,而气温在 30℃左右。采样期间天气稳定。

2.2 DO 的变化

3 个池塘水体的 DO 昼夜变化趋势基本相似(图 1-a)。由于晚上浮游微藻光合作用基本停止不产氧,池塘中所有生物的呼吸活动消耗了大量 DO,使 $\rho(\text{DO})$ 在 5:00 降至最低 (3 mg·L⁻¹),而经过白天的光合作用,DO 在 13:00 达到最高 (5.6 mg·L⁻¹)。由于白天阴云时间多,晴朗度不佳,DO 上升不明显,这与其他研究显示 DO 大多在 17:00 时达到峰值^[4]稍有不同。有学者指出水体中 $\rho(\text{DO})$ 低于 3 mg·L⁻¹ 时对虾的摄食受到抑制^[5],也有学者认为应保持对虾养殖池底层水中 $\rho(\text{DO})$ 高于 4 mg·L⁻¹^[6]。显然,5:00 时 $\rho(\text{DO})$ 3 mg·L⁻¹ 左右对对虾生长不利。

2.3 pH 的变化

pH 的变化与 DO 的变化趋势大致相似(图 1-b)。在下午至夜间缓缓下降,而白天逐渐上升,到 13:00 达到最高值。一般对虾较适宜 pH 为 7.8~8.8 的弱碱性环境^[7],但 3 个池塘的 pH 都偏低,在 7.21~7.85 之间浮动,夜间在 7.5 以下。

2.4 COD 的变化

COD 的变化平缓,变幅不大(图 1-c)。2[#]池变动最小, $\rho(\text{COD})$ 在 9.00~11.88 mg·L⁻¹ 波动,平均 (10.39±0.99) mg·L⁻¹; 3[#]池在 8.50~12.44 mg·L⁻¹ 波动,平均 (11.20±1.31) mg·L⁻¹; 1[#]池在 13.10~16.20 mg·L⁻¹ 波动,平均 (14.14±

表1 养殖池水温和盐度的变化

Tab.1 Variation of salinity and temperature in culture pond

时间 time	1 [#] 池 No. 1		2 [#] 池 No. 2		3 [#] 池 No. 3	
	盐度 salinity	水温/℃ temperature	盐度 salinity	水温/℃ temperature	盐度 salinity	水温/℃ temperature
7.5~21:00	25	32.2	23	32.8	24	32.8
7.6~1:00	25	31.7	23	31.8	24	32.0
7.6~3:00	26	31.5	24	31.5	25	31.5
7.6~5:00	25	31.5	24	31.5	25	31.5
7.6~9:00	24	31.1	24	31.2	24	31.2
7.6~13:00	27	31.6	26	31.5	24	31.8
7.6~17:00	25	30.8	25	30.6	26	30.7

1.27) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在各个采样时间节点中, 1[#]池的 ρ (COD) 普遍高于2[#]和3[#]池。

2.5 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的变化

3个池塘 $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ 在24 h内的变化过程见图1-d。 $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ 在夜间缓慢上升, 白天下降。1[#]池在3:00达到最高 ($0.23\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 9:00落至最低 ($0.033\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); 2[#]池在5:00达到最高 ($0.23\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 21:00落至最低 ($0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); 3[#]池在9:00达到最高 ($0.35\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 21:00落至最低 ($0.06\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。3个池 $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ 平均值分别为 (0.10 ± 0.06)、(0.15 ± 0.06) 和 (0.24 ± 0.07) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在各个采样时间节点中, 3[#]池的 $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ 普遍高于1[#]和2[#]池。

2.6 各种形式N的变化

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 24 h变化趋势线大致呈M型 (图1-e)。3个池塘的峰值均出现在3:00和9:00, 谷值均出现在5:00。3:00和9:00时水体的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 分别为1[#]池0.38和0.46 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 2[#]池0.42和0.45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 3[#]池0.53和0.55 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。5:00时3个池塘的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 分别为0.22、0.25和0.36 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。3个池塘的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 昼夜平均值相差不大, 分别为 (0.330 ± 0.08)、(0.319 ± 0.08) 和 (0.385 ± 0.11) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在3:00~9:00的采样时间节点中, 3[#]池的 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 普遍高于1[#]和2[#]池。

$\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 24 h变化趋势线大致呈W型 (图1-f)。3个池在5:00均出现1个波峰, 在3:00和9:00落至谷底, 其中1[#]池波谷出现在1:00和

9:00, 最低0.07 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 出现在1:00, 最高0.28 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 出现在5:00; 2[#]池波谷出现在3:00和9:00, 最低0.01 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 出现在9:00, 最高0.20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 出现在5:00; 3[#]池波谷出现在3:00和9:00, 最低0.30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 出现在9:00, 最高0.53 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 出现在13:00。3个池24 h平均值分别为 (0.16 ± 0.07)、(0.10 ± 0.06) 和 (0.46 ± 0.09) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在各个采样时间节点中, 3[#]池的 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 普遍高于1[#]和2[#]池。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的昼夜变化复杂, 没有一定规律 (图1-g)。1[#]池 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 最高值出现在1:00 ($0.334\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 最低值出现在5:00 ($0.009\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); 2[#]池最高值出现在3:00 ($0.282\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 最低值出现在21:00 ($0.046\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); 3[#]池最高值出现在3:00 ($0.555\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 最低值出现在17:00 ($0.092\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。3个池 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 的昼夜平均值分别是 (0.162 ± 0.11)、(0.155 ± 0.08) 和 (0.329 ± 0.15) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在各个采样时间节点中, 3[#]池的 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ 普遍高于1[#]和2[#]池。

无机氮 (DIN) 昼夜无明显地涨落, 变化平缓 (图1-h), 而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 却有明显波动, 说明24 h内DIN没有被微藻或其他物质大量吸收, 只是三态N不同形式之间相互转化, 这与甘居利等^[8]试验结果相同。试验结果表明, 后期 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 占DIN的73%左右是DIN的主要存在形式。对虾养殖中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 均为须严格控制的有毒有害物质, 有研究表明其可降低对虾与抗病力有关的酶活力, 提高对病原菌的易感性^[9], 因此, 有学者认为在养殖过程中水环

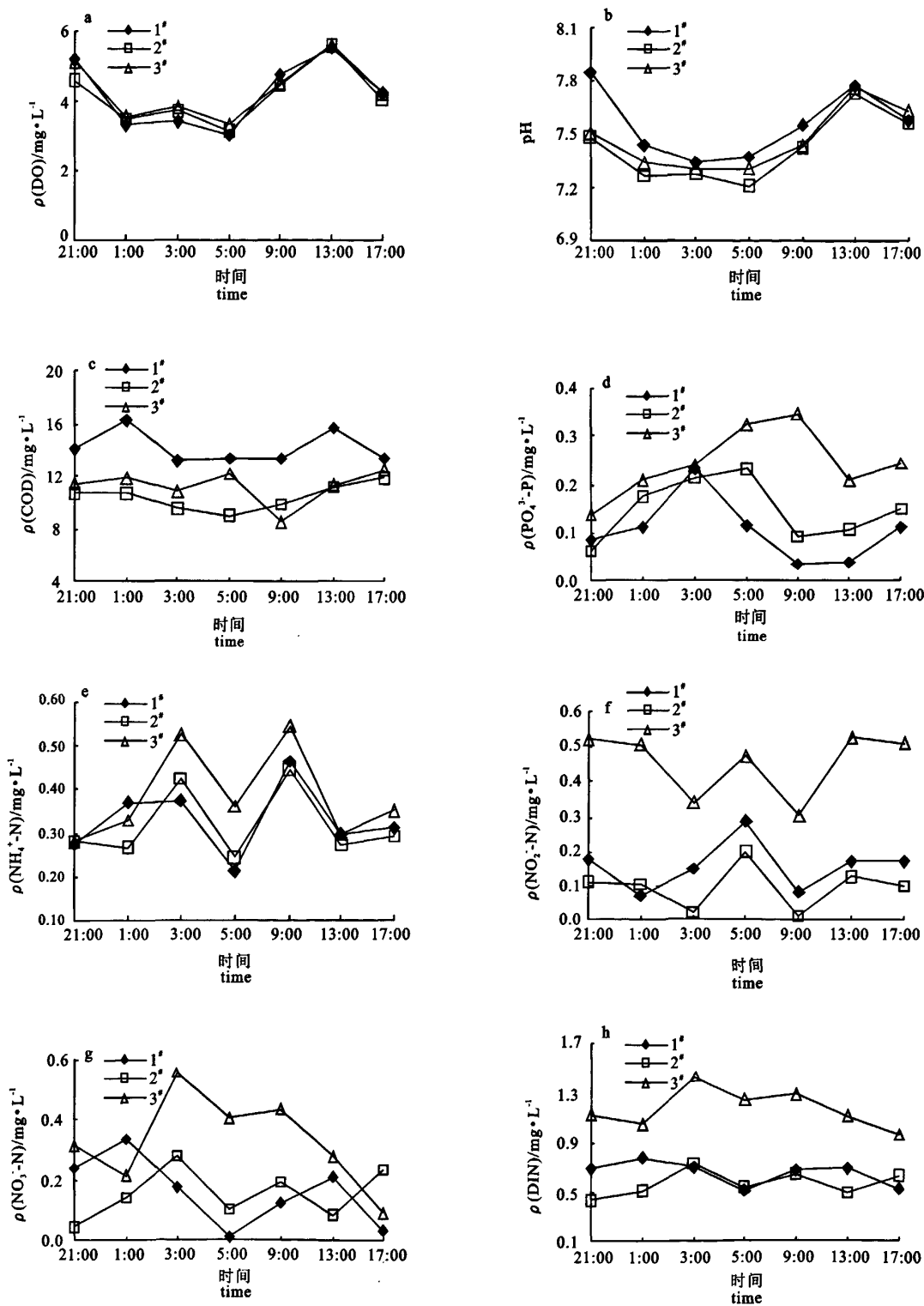


图 1 养殖虾池水体 DO、pH、COD、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 DIN 的变化

Fig. 1 Variations of DO, pH, COD, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and DIN in shrimp ponds

境 $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 变化幅度不应超过 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 或长时间维持在较高水平($>0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[10-11]。有研究得出,一定条件下 NH_4^+-N 和 NO_2^--N 安全质量浓度分别为 2.667 和 $5.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[11],试验池 $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 和 $\rho(\text{NO}_2^--\text{N})$ 虽然低于上述质量浓度但相较于生产上提出的养殖池中 $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 应低于 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\rho(\text{NO}_2^--\text{N})$ 应低于 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的标准^[7]已超出许多,这可能是造成试验池对虾死亡的原因之一。

3 讨论

夏季水中DO主要受水温和生物活动的影响。水温高,生物活动频繁,水体DO变化非常剧烈,容易出现高氧环境,也易出现缺氧状况。该试验结果得出, $\rho(\text{DO})$ 最高和最低值分别出现在13:00和5:00左右,分别为 5.6 和 $3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。DO主要受浮游微藻光合作用的影响,其从日出时分开始逐渐升高,直到午后达到高峰,晴天时甚至达到过饱和而产生“氧盈”,然后逐渐变小至太阳落山,光合作用停止,夜间有机质分解及生物呼吸,DO只有消耗,直到次日黎明降至低点^[12]。pH受养殖池中微生物代谢活动产生的酸性或碱性物质影响,但主要的影响因素是二氧化碳(CO_2)含量的变化^[13],因此DO与pH变化相似。

养殖后期虾个体大,投料量、投料频率均有所增加,试验进行时每天约在6:00、11:30、17:00和22:30投料4次,21:00~3:00水体中DIN稍有上升是由于投料后饲料中的无机 NO_3^--N 溶入水体造成,而高温和饲料中丰富有机质能促使氨化反应加速^[14]生成 NH_4^+-N 。3:00~5:00水体 NO_3^--N 和DIN减少而此时为夜间,微藻不进行光合作用,不能利用DIN, $\rho(\text{DO})$ 逐渐下降,此时发生的是硝化-反硝化耦合反应,硝化反应是一个利用氨化反应产物的需氧过程,氨在亚硝化细菌作用下被氧化成 NO_2^--N ,然后在硝化细菌的作用下进一步被氧化成 NO_3^--N 。当水体缺氧时,反硝化细菌可以将 NO_3^--N 还原为 NO_2^--N ,再还原为氮气(N_2)、一氧化二氮(N_2O)和 NH_4^+-N ,因此,硝化与反硝化之间有很强的耦合作用^[14]。5:00时水体 $\rho(\text{DO})$ 和pH均降至最低,加之耦合反应使水体中 $\rho(\text{NO}_2^--\text{N})$ 达到峰值。5:00~9:00微藻光合作用

使水体 $\rho(\text{DO})$ 和pH逐渐升高,硝化反应增强,水体中积累的 $\rho(\text{NO}_2^--\text{N})$ 逐渐减少,投料使 $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 、 $\rho(\text{NO}_3^--\text{N})$ 和 $\rho(\text{DIN})$ 升高,9:00~13:00日光逐渐增强,藻类光合作用吸收营养盐并产生大量氧气,此时水体的氨化和硝化作用强烈,氨在亚硝化细菌作用下被氧化成 NO_2^--N ,然后在硝化细菌的作用下进一步被氧化成 NO_3^--N 。但硝化细菌繁殖速度较慢,所以 NO_2^--N 转化为 NO_3^--N 所需时间相对较长^[15],5:00时出现 NO_2^--N 的上升。

4 结论

1) 在天气昼夜间稳定,气温、水温和盐度变化不大的情况下,COD和DIN波动较小,但 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、DO和pH均有较大起落,说明虾池易感水质因子在昼夜之间变动明显。

2) 水质因子变动有一定的规律性与相关性。pH变化与DO变化极密切相关,DO的变化会影响pH变化,而其又与许多微生物的活动有关。5:00左右是水体 $\rho(\text{DO})$ 和pH最低而 $\rho(\text{NO}_2^--\text{N})$ 最高的时候,夜间浮游微藻无法进行光合作用产生氧气,水体中所有生物都在消耗氧,氮素的中间产物 NO_2^--N 积累增加,是个极为危险的时刻。

3) 3:00~9:00是水质昼夜变动的关键时期,期间应密切留意水质变化。特别是阴雨天持续较长时间后,白天阳光不充足,浮游微藻产氧储存不足,开动增氧机仍达不到良好效果时,应伺机(如1:00~3:00)采取合理的化学增氧措施,泼洒增氧剂和相应的水质调节剂,以提高养殖水体 $\rho(\text{DO})$,减少 NH_4^+-N 和 NO_2^--N 的产生或降低其毒性,避免养殖对虾缺氧或中毒应激死亡。

参考文献:

- [1] 孙国铭,汤建华,仲震铭. 氨氮和亚硝酸氮对南美白对虾的毒性研究[J]. 水产养殖,2002(1):22-24.
- [2] 郑振华,董双林,田相利. pH不同处理时间的周期性变动对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 中国海洋大学学报,2008,38(1):45-51.
- [3] 国家海洋环境监测中心. GB 17378.1-2007,海洋监测规范第4部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [4] 杨品红,谢春华,王晓艳,等. 超大珍珠养殖池与鱼池水质昼夜变化规律比较研究[J]. 水利渔业,2007,27(2):76-

- 78.
- [5] 李键, 孙修涛, 赵法箴. 温度、溶解氧含量对中国对虾消化速率的影响 [J]. 海洋科学, 1993 (5): 4-6.
- [6] 曲克明, 李秋芬, 陈碧鹃, 等. 对虾养殖池生态环境的人工调控及其特征 [J]. 黄渤海海洋, 2000, 18 (3): 72-80.
- [7] 叶松权, 陈贤龙. 池塘养殖南美白对虾的水质要求和调节措施 [J]. 中国水产, 2007 (7): 48-49.
- [8] 甘居利, 林钦, 王小平, 等. 工厂化流水养鲍系统水质动态变化 [J]. 中国水产科学, 2003, 10 (4): 333-337.
- [9] 姜令绪, 潘鲁青, 肖国强. 氨氮对凡纳对虾免疫指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2004, 11 (6): 537-541.
- [10] 孙舰军, 丁美丽. 氨氮对中国对虾抗病力的影响 [J]. 海洋与湖沼, 1999, 30 (3): 267-272.
- [11] 黄翔鸽, 李长玲, 郑莲, 等. 亚硝酸盐氮对凡纳滨对虾毒性和抗病相关因子影响 [J]. 水生生物学报, 2006, 36 (4): 466-471.
- [12] 刘海英, 曲克明, 马绍赛. 养殖水体中溶解氧的变化及收支平衡研究概况 [J]. 海洋水产研究, 2005, 26 (2): 79-84.
- [13] 陈剑锋, 赖廷和, 童万平. 南美白对虾工厂化养殖水体 pH 值的变化特征 [J]. 水产科学, 2006, 25 (9): 456-458.
- [14] 徐继荣, 王友绍, 孙松. 海岸带地区的固氮、氨化、硝化与反硝化的特征 [J]. 生态学报, 2004, 24 (12): 2908-2914.
- [15] 乔顺风. 水体氮氮转化形式与调控利用的研究 [J]. 饲料工业, 2005, 26 (12): 12-15.