

凡纳滨对虾海水高位池养殖水体理化因子变化与营养状况分析

李卓佳, 李奕雯, 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, 广州 510300)

摘要:2008年4月至8月,在广东汕尾红海湾对虾海水高位池高密度养殖基地对养殖全程池塘水体进行周期性连续采样测试。结果显示,养殖过程水温、盐度和溶解氧波动较大,pH值从8.95~9.37下降至7.21~7.27,透明度从38~78 cm下降至20 cm;COD在养殖前中期即达到较高的水平,在 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右波动;氨氮和亚硝氮在养殖中期积累增加,养殖后期急剧上升。养殖水体营养状况经历了贫营养-磷限制中度营养-氮限制潜在性富营养-磷中等限制潜在性富营养-磷限制潜在性富营养的变化,活性磷酸盐先于无机氮在养殖中期积累增加,但无机氮在养殖后期积累更加快速。结果表明,水质因子的波动和水体营养的不平衡明显影响对虾的健康生长,养殖过程要加强环境营养调控和微生物调控手段,养殖前期适当提高水体营养水平,养殖中后期强化代谢产物降解转化,减轻富营养化程度,同时要密切监控和及时调控溶解氧、pH值、氨氮和亚硝氮的变化,营造有利于对虾健康生长的良好水环境。

关键词:凡纳滨对虾;高密度养殖;水体理化因子;水体营养状况

中图分类号:X832 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)10-2025-08

Analysis of Physical-chemical Factors Variation and Nutritional Status of *Litopenaeus vannamei* High Level Seawater Ponds

LI Zhuo-jia, LI Yi-wen, CAO Yu-cheng, WEN Guo-liang, LIU Xiao-zhu

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

Abstract: Investigations were conducted on water quality in high-density seawater shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds in Honghai bay, Shanwei, Guangdong Province, China from April to August in 2008. The results showed that water temperature, salinity and DO fluctuated greatly during the process of culture, pH decreased from 8.95~9.37 to 7.21~7.27, and transparency decreased from 38~78 cm to 20 cm, COD reached around $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in early and middle period, ammonia nitrogen and nitrite nitrogen increased from the middle period, and risen quickly in the last period. During the whole process of culture, the nutritional status of aquaculture water experienced the following changes: poor trophic-medium trophic with limited phosphorus-potential eutrophic with limited nitrogen-potential eutrophic with medium limited phosphorus-potential eutrophic with limited phosphorus. In the middle period, phosphate accumulated prior to the inorganic nitrogen, while the latter accumulated rapidly in the later period. The results demonstrated that the healthy growth of shrimp was affected significantly by fluctuations of water quality parameters and nutritional imbalance. Therefore, environment nutrition regulation and microbial control measures should be strengthened during the whole culture process. In the early period water nutrition levels should be improved properly, and metabolites degradation should be enhanced in the middle and later periods to reduce eutrophication. At the same time, to create a well water environment for healthy growth of shrimp, the changes of DO, pH, ammonia nitrogen and nitrite nitrogen should be monitored closely and regulated timely.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*; high-density culture; physical-chemical factors in water; nutritional status in water

收稿日期:2009-12-05

基金项目:现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金(NYCYTX-46);国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD09A07,2006BAD09A11);南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研专项(2007ZD01,2010YD05);公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-042,2007BAD29B06);国家自然科学基金(30800851);广东省科技计划(2008A020100002,2009B020201001);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:李卓佳(1956—),女,研究员,从事对虾健康养殖研究。E-mail:zhuojiali609@163.com

凡纳滨对虾高密度集约化半封闭养殖是一种高投入高产出的新型养殖模式,在广东、广西、海南等地有较大规模。由于较高的工程化程度和养殖管理水平,养殖成功率比较高。但是,由于沙滤进水和土工膜铺底,养殖池塘环境的微生物多样性较差,养殖生态系统比较脆弱,加之养殖密度高,投入的饲料量大,养殖代谢产物积累,水交换量少,环境负荷大,呈现出水水质因子波动频繁、生态环境稳定性差的特点,从而影响养殖对虾的健康生长。为了了解凡纳滨对虾高位池高密度养殖水环境的变动规律,有效地进行水环境调控,为养殖对虾的健康生长营造良好稳定的生态环境,笔者于2008年4月至8月在广东省汕尾市红海湾养殖场对养殖全程水体进行周期性连续采样测试,分析养殖周期水体理化因子变化特点和水体营养水平状况,以期对对虾高密度半封闭养殖水环境的有效调控和健康养殖管理提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 实验场地与条件

实验场地在广东省汕尾市红海湾田乾镇东洲(东经 115.32°, 北纬 22.43°)对虾养殖基地。总面积 5.3 hm²,建有沙滤进水系统和贮水消毒池,养殖池塘配备良好的机械增氧系统和中央排水系统,全部铺设土工膜,养殖凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)。选取 3 个面积为 0.43 hm² 的养殖池塘,编号为 1、2、3 号池,2008 年 4 月 9 日投放凡纳滨对虾苗进行养殖,投苗密度 135 万尾·hm⁻²。

1.2 日常管理

放苗前,池塘进水消毒处理后,施用浮游微藻营养素和芽孢杆菌;养殖前中期(80 d 前)每隔 10 d 左右分别施用芽孢杆菌制剂 15 kg·hm⁻²·m⁻¹(粉状制剂,有效活菌 10×10⁸ CFU·g⁻¹)、光合细菌制剂 30 kg·hm⁻²·m⁻¹(液体制剂,有效活菌 5×10⁸ CFU·mL⁻¹)、乳酸菌制剂 15 kg·hm⁻²·m⁻¹(液体制剂,有效活菌 5×10⁸ CFU·mL⁻¹);养殖后期每隔 3~7 d 分别施用芽孢杆菌制剂 7.5 kg·hm⁻²·m⁻¹(粉状制剂,有效活菌 10×10⁸ CFU·g⁻¹)、光合细菌制剂 30 kg·hm⁻²·m⁻¹(液体制剂,有效活菌 5×10⁸ CFU·mL⁻¹),视具体情况适当施用沸石粉、农用石灰等。养殖前期(30 d 内)基本不换水,中期添水,中后期少量排污换水,保持水深 1.8~2.3 m。养殖全程机械增氧。饲料日投喂量为虾体重的 3%~6%,日投喂 3 次,根据天气、摄食、蜕壳等情况适当调节。

1.3 样品的采集与分析

自 2008 年 4 月 8 日至 8 月 4 日,每 14 d 采样一次,于上午 9:00 进行,采样水深 0.6~1.0 m。现场采用 PHB-1 型便携式 pH 计测定 pH 值, Thermo Orion 型号 810 便携式溶氧仪测定溶氧(DO), 型号 WYY-II 便携式折射盐度计测量盐度,透明度盘(萨氏盘)测定水体的透明度。用有机玻璃柱状采水器在池塘四角及中央各定量采集水样 2 L 混匀,取混合水样固定后带回实验室,按照国家相关标准^[1]测定氨氮(NH₃-N)、亚硝氮(NO₂-N)、硝氮(NO₃-N)、磷酸盐(PO₄³⁻-P)和化学需氧量(COD)。无机氮(DIN)为氨氮、亚硝氮和硝氮之和。

2 结果与分析

2.1 养殖过程水体理化因子的变化

2.1.1 气温、水温和盐度的变化

采样过程气温和水温变化如图 1 所示。气温的变化反映了气候的特点,自 4 月初到 5 月 20 日,由于连续阴雨或大雨,气温逐渐降低,5 月 20 日达到最低 18.9 °C,以后随着气候变暖而逐渐上升,7 月 29 日遭遇台风暴雨又出现大幅度下降,之后再快速上升达到最高温 39.4 °C。水温的变化与气温基本同步但相对缓和,3 个池塘的水温变动相似,最低水温为 23.2 °C,最高水温为 32.3 °C,平均水温分别为 27.49、27.4、27.3 °C,养殖 80 d 之前基本在 27 °C 以下波动。

水体盐度受海区海水盐度、换水量、降雨及水分蒸发的影响,采样期间海水盐度在 35 左右,但养殖池塘水体盐度呈现养殖前期高、中间低、后期又升高的变化。如图 2 所示,4 月初至 6 月初虽有较长时间阴雨,但池塘水体盐度与海区盐度仍相差不大,6 月份

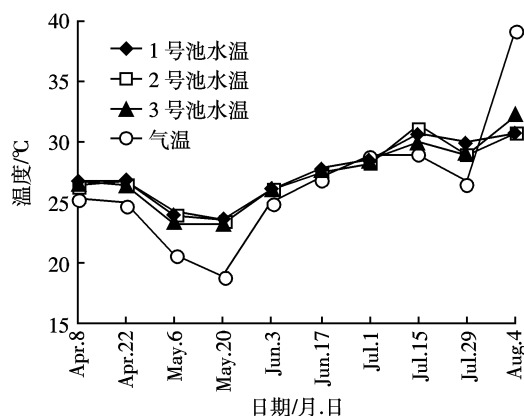


图 1 养殖虾池气温、水温变化

Figure 1 Change of temperature in the ponds

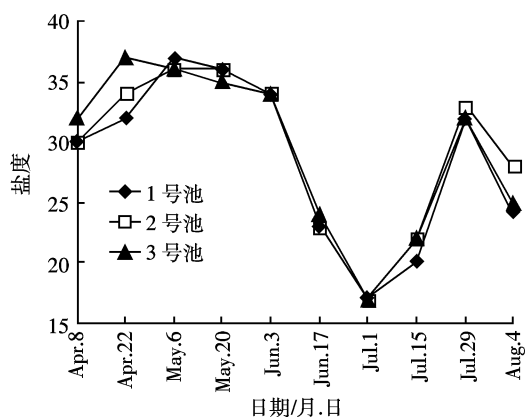


图2 养殖虾池水体盐度变化

Figure 2 Change of salinity in the ponds

受连续强降雨影响,池塘水体盐度大幅下降,7月1日降到最低值17,7月份盐度逐渐回升,7月29日遭遇台风暴雨又下降,8月初收虾时盐度为25左右。

2.1.2 pH值和透明度的变化

养殖水体pH值总体呈现养殖前期较高,随着养殖进程逐渐降低的趋势(图3)。放苗初期,由于浮游微藻的增长使pH值从8.50升至8.95~9.37,随着养殖进程pH值逐渐下降,5月20日以后基本在7.70以下波动,最低达到7.21,其间虽有施用农用石灰进行调节,但pH值仍然维持在7.50左右。其中,1号池波动范围9.27~7.22,平均值7.86;2号池波动范围8.95~7.27,平均值7.90;3号池波动范围9.37~7.21,平均值7.92。pH值是水中理化因子和生物活动的综合结果^[2],养殖对虾的生命活动、代谢产物的降解转化是pH值持续下降的主要原因,可能连续阴雨天气加剧了这种变化。

如图4所示,3个池塘水体在4月8日均清澈见底,放苗以后透明度快速下降,4月22日分别为38、58、78 cm,5月20日降至30 cm左右,其后大致在20~30 cm之间波动。自4月22日起,1号池透明度变幅为20~38 cm,平均29.67 cm;2号池透明度变幅为20~56 cm,平均28.89 cm;3号池透明度变幅为18~78 cm,平均34.89 cm。

2.1.3 溶解氧(DO)的变化

溶解氧是高密度养殖虾池最主要的且极易变动的水质因子,主要受浮游微藻光合作用、空气中氧气的溶入以及人工增氧等因素影响。养殖过程中3个养殖池塘水体中溶解氧变化趋势基本相似(图5),在5月20日和7月29日出现两个低谷,与气温和水温变化同步。放苗前溶解氧在 $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,之后升高达到8~

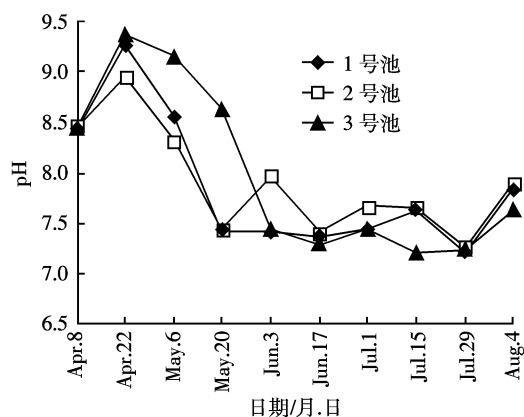


图3 养殖虾池pH的变化

Figure 3 Change of pH in the ponds

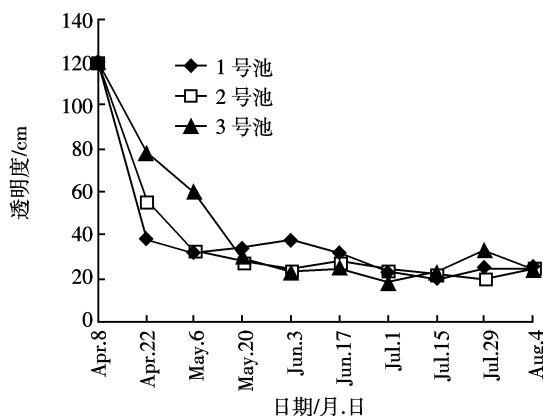


图4 养殖虾池透明度变化

Figure 4 Change of transparency in the ponds

$10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,5月20日快速降低到最低值 $3.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,以后又慢慢升高,7月1日回升到 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,但之后又逐渐降低,7月15日之后加大了机械增氧的力度,每个池塘开动四台浮水增氧机和六台沉降式增氧机,但7月29日仍然滑落至低谷,最低到 $4.46 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,当天采取了泼洒化学增氧剂的应急措施,加上气候转好,溶解氧快速升高。

2.1.4 化学需氧量(COD)的变化

如图6所示,3个养殖池塘的COD变化基本一致,放苗前COD仅为 $2.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,放苗后随着养殖时间增加快速上升并保持在较高水平。自4月22日至8月4日水体COD变化范围为:1号池 $6.40 \sim 12.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值 $9.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;2号池 $8.00 \sim 11.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值 $10.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;3号池 $3.84 \sim 12.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值 $9.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。有研究认为养殖水体COD小于 $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的范围内较为合适^[4],而监测的3个养殖池塘水体COD在养殖28 d即达到 $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,以后在10

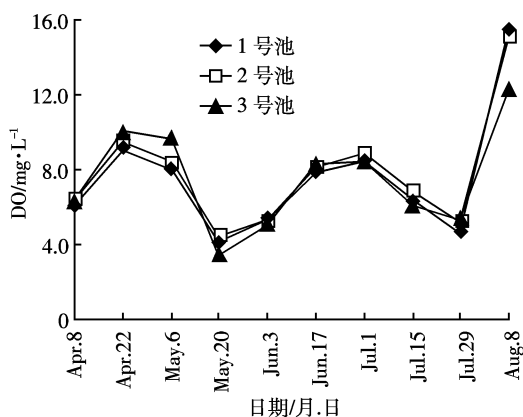


图5 养殖虾池 DO 的变化

Figure 5 Change of DO in the ponds

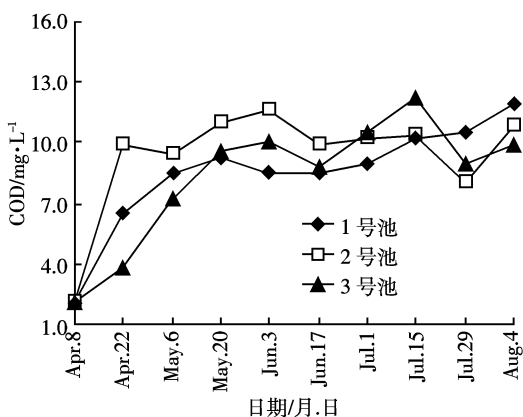


图6 养殖虾池 COD 的变化

Figure 6 Change of COD in the ponds

mg·L⁻¹左右波动,显示出高密度半封闭养殖池塘水体有机物丰富的特点。

2.1.5 氨氮(NH₃-N)的变化

3个养殖池塘水体的氨氮变化基本相似(图7),4月8日为0.2~0.3 mg·L⁻¹,6月17日之前基本在0.05 mg·L⁻¹以下,此后开始上升,7月1~15日达到0.5 mg·L⁻¹左右,7月29日跃升至4 mg·L⁻¹左右。

2.1.6 亚硝氮(NO₂-N)的变化

3个养殖池塘的亚硝氮自养殖中期起总体呈积累增加趋势(图8)。6月17日之前亚硝氮均在一个较小(0.003~0.03 mg·L⁻¹)的范围内波动,7月1日后均有一个大幅度的上升,且基本随着养殖时间的延长逐步上升,从7月1日的0.13~0.37 mg·L⁻¹至15日的0.36~0.65 mg·L⁻¹再至29日的0.16~0.8 mg·L⁻¹,最后上升至8月4日的1~2 mg·L⁻¹。其中1号池在8月4日(养殖115 d)达到了最高值2.08 mg·L⁻¹。

2.1.7 硝氮(NO₃-N)的变化

硝氮(NO₃-N)是三态氮中最稳定的存在形式,其

变化总体比氨氮和亚硝氮小。如图9所示,3个养殖池塘的硝氮在7月1日之前均是在小范围内波动,7月1日之后,1号池和2号池逐渐上升,达到了0.5~1 mg·L⁻¹,3号池在7月15日达到最高值3.25 mg·L⁻¹。

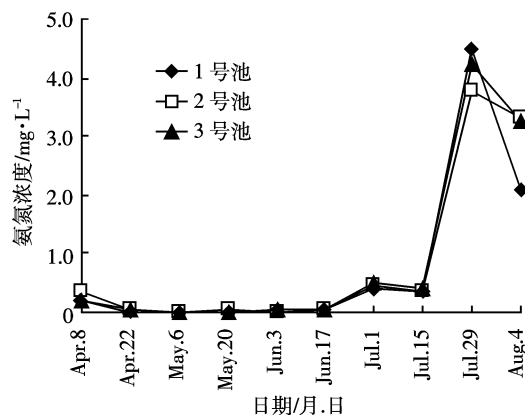


图7 养殖虾池氨氮的变化

Figure 7 Change of ammonia in the ponds

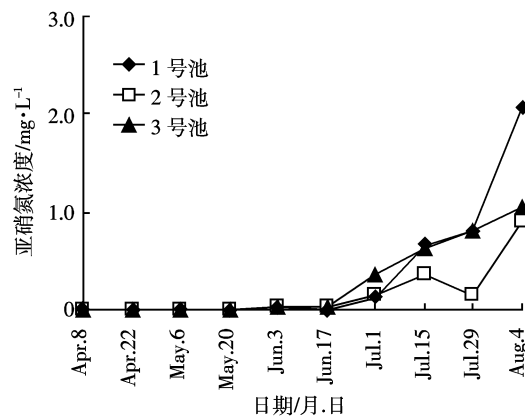


图8 养殖虾池亚硝氮的变化

Figure 8 Change of nitrite in the ponds

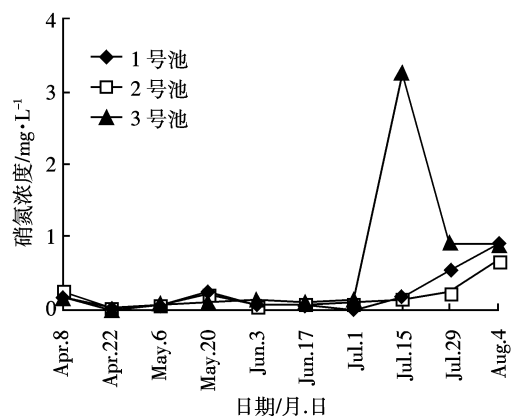


图9 养殖虾池硝氮的变化

Figure 9 Change of nitrate in the ponds

2.2 养殖过程水体营养的变化

2.2.1 无机氮(DIN)的变化

如图 10 所示,在 6 月 17 日之前,养殖水体无机氮基本呈现低水平,之后开始增加,7 月 1 日后快速上升,7 月 29 日达到了峰值,3 个池塘分别为 5.83、4.15 mg·L⁻¹ 和 5.98 mg·L⁻¹,呈现出养殖中后期快速积累上升的趋势。

2.2.2 磷酸盐(PO₄³⁻-P)的变化

如图 11 所示,5 月 20 日之前,1 号池和 3 号池的磷酸盐浓度均小于 0.01 mg·L⁻¹,之后快速积累,在 6 月 17 日,分别达到 0.35 mg·L⁻¹ 和 0.26 mg·L⁻¹,到 7 月 29 日,分别为 0.33 mg·L⁻¹ 和 0.39 mg·L⁻¹;2 号池磷酸盐浓度在 6 月 3 日之前均小于 0.01 mg·L⁻¹,之后快速积累,在 7 月 15 日达到 0.191 mg·L⁻¹。可见,水体中磷酸盐浓度在养殖 50 d 左右开始快速积累,积累增加时间先于无机氮。

2.3 养殖水体营养状况评价

根据浮游植物正常生长氮、磷浓度和物质的量之

比,有学者提出了潜在性富营养化的观点,并以此为基础提出了新的评价水体富营养化的标准和方法^[9],其营养级划分原则如表 1 所示。用此评价方法对 3 个养殖池塘的各个养殖阶段进行营养级别评定,结果如表 2 所示。

由表 2 结果可看出,放苗前 1 d,1 号池水体营养水平介于中度营养和富营养之间,N/P 为 20,2、3 号池水体营养水平为磷中等限制潜在性富营养,N/P 分别为 33 和 34;3 个池塘养殖 13~27 d 为贫营养,41 d 为磷限制中度营养和贫营养,55~83 d 为氮限制潜在性富营养,N/P 基本在 10 以下;97 d 以后为磷中等限制潜在性富营养,3 个养殖池塘的 N/P 分别跃增到 39、57、33;117 d 为磷限制潜在性富营养,3 个养殖池塘的 N/P 再跃增到 77、92、59。可见,养殖前中期水体基本呈现为贫营养状态,养殖中期水体已经出现富营养化,由于磷先积累呈现氮限制,后期氮快速积累呈现磷限制。

2.4 养殖情况

由表 3 可知,经过 3 个多月的养殖,1 号池的饲料系数最低为 1.40,2 号池的饲料系数最高为 1.53,3 号池为 1.44,但 3 号池的虾体长最小。3 个池的成活率分别为 54.64%、47.37%、59.35%。饲料系数偏高,溶入水中的氮、磷含量也增加,造成浪费且易引起有毒有害物质积累。

3 讨论

研究结果发现,监测池塘中虽有足够的机械增氧设施,但养殖过程溶解氧多数呈现较低值,且出现大幅度波动。这与养殖密度高,对虾及其他环境生物活动大量耗氧,而养殖期间多为阴雨天气,浮游微藻光合作用效率低,产氧少密切相关,强降雨、气温突降更

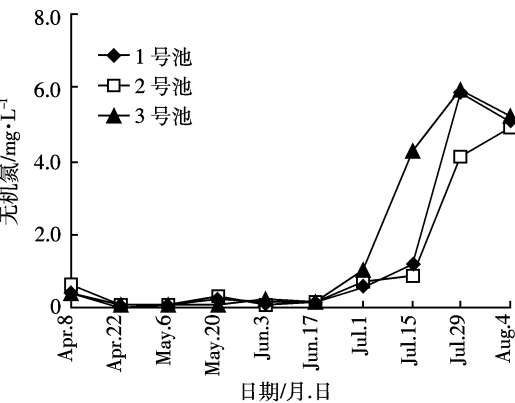


图 10 养殖虾池无机氮变化
Figure 10 Change of DIN in the ponds

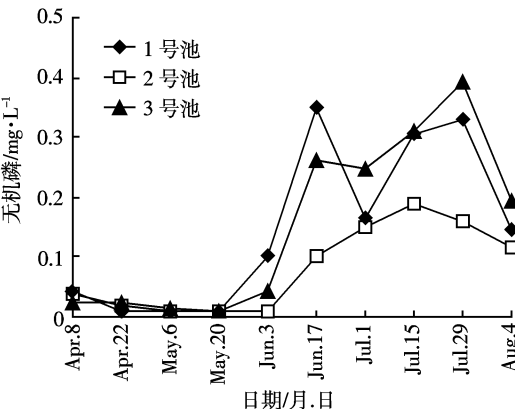


图 11 养殖虾池磷酸盐变化
Figure 11 Change of phosphate in the ponds

表 1 营养级的划分原则
Table 1 Classification of nutrient levels

级别	营养级	DIN/ μmol·L ⁻¹	PO ₄ ³⁻ -P/ μmol·L ⁻¹	N/P
I	贫营养	< 14.28	< 0.97	8~30
II	中度营养	14.28~21.41	0.97~1.45	8~30
III	富营养	> 21.41	> 1.45	8~30
IV _P	磷限制中度营养	14.28~21.41	—	> 30
V _P	磷中等限制潜在性富营养	> 21.41	—	30~60
VI _P	磷限制潜在性富营养	> 21.41	—	> 60
IV _N	氮限制中度营养	—	0.97~1.45	< 8
V _N	氮中等限制潜在性富营养	—	> 1.45	4~8
VI _N	氮限制潜在性富营养	—	> 1.45	< 4

表 2 3 个养殖池塘水体营养水平及划分
Table 2 Nutrient level and classification of 3 ponds

时间/d	DIN/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$			PO ₄ ³⁻ -P/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$			N/P			营养级		
	1#	2#	3#	1#	2#	3#	1#	2#	3#	1#	2#	3#
-1	27.64	43.00	27.43	1.35	1.29	0.81	20	33	34	Ⅱ~Ⅲ	V _P	V _P
13	2.57	5.14	< 4.07	0.32	0.61	0.77	8	8	—	I	I	I
27	< 4.36	< 6.00	< 7.00	< 0.32	< 0.32	0.48	—	—	—	I	I	I
41	18.93	20.57	8.07	< 0.32	< 0.32	< 0.32	—	—	—	IV _P	IV _P	I
55	11.86	6.14	16.14	3.32	< 0.32	1.48	4	—	11	V _N	I	Ⅱ-Ⅲ
69	9.93	10.86	13.50	11.29	3.23	8.39	1	3	2	VI _N	VI _N	VI _N
83	16.93	46.79	83.57	7.13	7.26	9.77	2	6	9	VI _N	V _N	Ⅲ
97	369.43	382.71	522.64	15.84	10.42	16.58	23	37	32	Ⅲ	V _P	V _P
111	416.57	296.57	427.14	10.58	5.19	12.61	39	57	34	V _P	V _P	V _P
117	363.43	348.36	374.29	4.71	3.77	6.32	77	92	59	VI _P	VI _P	V _P

表 3 实验池对虾产量及饲料投入
Table 3 Shrimp production and ration of feeding
in experimental ponds

池号	1	2	3
平均重/g	19.24±2.76	19.30±2.12	17.54±2.02
平均长/cm	11.93±0.56	12.08±0.50	11.89±0.52
总收获量/kg	5 676.5	4 937.0	5 621.5
总投料量/kg	7 959	7 540	8 122
饲料系数	1.40	1.53	1.44
成活率/%	54.64	47.37	59.35

加剧溶解氧的大幅下降。监测反映的是早晨 9:00 的数据,溶解氧含量都出现 3.48 mg·L⁻¹ 的低值,还多次出现 5 mg·L⁻¹ 左右“温饱”而不能达到富足水平,而在强降雨和气温突降时导致溶解氧的同步大幅下降(见图 1 和图 5)。本研究在养殖后期还选择气候平稳良好的时段监测了水质因子的昼夜变化,发现凌晨 5:00 的溶解氧含量为 3 mg·L⁻¹,估计在气候异常时凌晨溶解氧含量要低于此值。低溶解氧水平直接或间接影响着养殖对虾的健康和生长。当溶解氧充足时,环境中微生物进行有氧呼吸,能较彻底地氧化有机物,产生二氧化碳、水、硝酸根、硫酸根和磷酸根等终端代谢产物;当溶解氧缺乏时,微生物进行厌氧呼吸,产生对养殖对虾生存十分有害的氨氮、硫化氢和沼气等中间代谢产物^[5]。

研究报道,当水温 27℃左右,盐度 20,pH 值 8.15 时,总氨氮和非离子氨对南美白对虾的安全浓度分别为 2.667 mg·L⁻¹ 和 0.201 mg·L⁻¹,亚硝酸氮的安全浓度为 5.551 mg·L⁻¹^[6]。高溶解氧条件下氨及亚硝酸盐的毒性降低,对虾耐受能力也有一定程度提高,在水温

21℃左右,盐度 30~31,pH 值 7.99 条件下,过饱和和 DO 值 10~12 mg·L⁻¹ 时,非离子氨和亚硝酸盐对中国明对虾的安全浓度分别为 0.152 mg·L⁻¹ 和 5.864 mg·L⁻¹,DO 值 5.5~6 mg·L⁻¹ 时,安全浓度分别为 0.098 mg·L⁻¹ 和 4.38 mg·L⁻¹^[7]。所监测的 3 口池塘的氨氮和亚硝氮在养殖前中期均处于较低水平,中后期逐渐积累上升。这可能是由于在养殖前中期(4—6 月)对虾个体小,人工投入物少,水体氮、磷浓度低,三态氮浓度基本低于 0.06 mg·L⁻¹,气温、水温的骤降和盐度的突变对水体营养盐浓度影响较小,水质基本能保持清新;而到了养殖后期(7—8 月)气温渐升,受沿海台风、多雨天气的影响,温度、盐度在短时间内变化较大,细菌和浮游微藻等的代谢活动变化使水体环境质量在短时间内发生剧变,致使对虾产生应激而减少摄食量,溶入水体中的残饵、废物增多会导致三态氮升高。如 7 月 29 日气温突降,水体氨氮、无机氮骤升,氨氮高达 4 mg·L⁻¹ 左右,超出安全浓度限值。8 月 4 日亚硝氮最高也达到 2.08 mg·L⁻¹,氨氮、亚硝氮积累上升且成为无机氮的主要形式,严重威胁到养殖对虾的正常生长。

凡纳滨对虾一般适于在弱碱性水中生活,最适 pH 值 7.8~8.6,耐受 pH 值 7~9,低于 7 时就会出现个体生长不齐,对虾活动受限制^[8]。监测池塘的 pH 值随着养殖进程逐渐下降,养殖中期以后基本在 7.7 以下波动,最低达到 7.21,虽然尚在对虾耐受范围内,但长期处于 pH7.8 以下的环境显然不利于养殖对虾的健康生长。

氮、磷是浮游微藻生长极为重要的营养元素,适当浓度的氮、磷对水体浮游微藻的生长,维持水体一

定的初级生产力尤为重要^[9]。养殖池中的氮磷营养盐主要来源于人工投入饲料和微藻营养素。由于放苗前人工投放浮游微藻营养素,养殖初期水体中氮、磷浓度维持一定水平,随后浮游微藻增长快速吸收利用氮、磷,养殖前期水体基本处于贫营养状态。随着养殖时间延长,投饵量增大,代谢产物积累增多,磷酸盐在养殖 50 d 左右开始积累,无机氮在 80 d 左右快速积累。可见,养殖中期水体已达到富营养水平,只是由于磷酸盐和无机氮的不同步积累,使得水体中 N/P 值极大地偏离 Redfield 值(16:1),而先后表现出氮限制潜在性富营养状况和磷限制潜在性富营养状况。有研究报道,南美白对虾幼虾饲料最适蛋白质含量在盐度 2 时为 26.7%、盐度 28 时为 33%^[10],中成虾一般蛋白需求比幼虾低 2% 左右。对虾摄食过量蛋白质或氨基酸组成不平衡的饲料,会导致外源氮的排泄增加^[11],同时增加水体中氨氮、亚硝氮等有害物质^[12]。有报道饲料中蛋白水平>39% 时有显著促进对虾生长的效果,但随着饲料蛋白水平增加养殖水体中氨氮、亚硝氮和磷酸盐显著升高^[13-14]。目前,实际养殖生产采用的凡纳滨对虾配合饲料蛋白含量为 40% 以上,多余的营养物质得不到有效利用排放在养殖环境中,养殖中期水体即呈现富营养化状态,不仅造成有害蓝藻大量生长^[15],而且使溶解氧波动激烈,pH 值降低,养殖后期氨氮、亚硝氮增高,妨碍养殖对虾的健康生长。

综上所述,在高密度半封闭养殖池塘中,水体溶解氧容易波动,pH 值随着养殖进程下降并维持较低值,养殖后期氨氮和亚硝氮积累增多,长期阴雨和台风强降雨天气加剧水体环境的不良状况。此外,水体营养呈现养殖前期贫营养、养殖中后期富营养,而且相继出现磷、氮限制的状况,导致浮游微藻种群不平衡、养殖后期蓝藻大量繁殖,引起水质变动,对养殖对虾产生极为不利的影响。所以,在养殖过程中需要进一步加强水体营养调控和微生物调控。在养殖前期适当增加有效氮、磷营养,提高养殖水体的营养水平,保持浮游微藻平稳繁殖;养殖中后期增加有益菌使用频率,加速养殖代谢产物的降解转化,减少有害物质的积累,同时控制饲料投喂量,减轻富营养化水平。在台风、强降雨、气温突变等气候异常时段,首先应及时采取加开增氧机,延长增氧时间等理化辅助调控措施,打破水体温度和盐度的分层现象,提高溶解氧含量,保持养殖环境的良性循环;其次,应使用光合细菌和 EM 菌等有益菌,快速利用氨氮,净化水质。

4 结论

养殖过程中水温、盐度和溶解氧等理化因子波动较大,pH 值和透明度随着养殖进程呈下降的趋势;COD 在养殖前中期即达到较高的水平;氨氮和亚硝氮在养殖中期积累增加,养殖后期急剧上升。

养殖水体的营养状况经历了贫营养-磷限制中度营养-氮限制潜在性富营养-磷中等限制潜在性富营养-磷限制潜在性富营养的变化,养殖前中期磷先积累呈现氮限制,养殖后期氮快速积累呈现磷限制。

针对高位池对虾养殖中的上述问题,应在养殖前期适当增加有效氮、磷营养,提高养殖水体的营养水平,保持浮游微藻平稳繁殖;养殖中后期增加有益菌使用频率,加速养殖代谢产物的降解转化,减少有害物质的积累,同时控制饲料投喂量,减轻水体富营养化水平。

参考文献:

- [1] GB 1737814—2007, 海洋监测规范 第 4 部分:海水分析[S].
GB 1737814—2007, The Specification for Marine Monitoring part 4: Seawater analysis[S].
- [2] 童万平, 何本茂, 韦蔓新. 台风对工厂化虾池生态系中氮磷关系影响的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2005, 2: 46-50.
TONG Wan-ping, HE Ben-mao, WEI Man-xin. A research on the typhoon's effect on the relation between nitrogen and phosphorus in the industrialized ecological system[J]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 2005, 2: 46-50.
- [3] 陆忠康. 简明中国水产养殖百科全书 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 741-778.
LU Zhong-kang. Concise aquaculture encyclopaedia in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 741-778.
- [4] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡, 1998, 17(1): 64-70.
GUO Wei-dong, ZHANG Xiao-ming, YANG Yi-ping, et al. Potential eutrophication assessment for Chinese coastal waters[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1998, 17(1): 64-70.
- [5] 周绪霞, 李卫芬, 王彦波. 精养虾池溶解氧变化规律的研究 [J]. 饲料工业, 2005, 26(2): 30-32.
ZHOU Xu-xia, LI Wei-feng, WANG Yan-bo. Variation of dissolved oxygen in intensive shrimp ponds[J]. *Feed Industry*, 2005, 26(2): 30-32.
- [6] 孙国铭, 汤建华, 仲霞铭. 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.
SUN Guo-ming, TANG Jian-hua, ZHONG Xia-ming. Toxicity research of ammonia nitrogen and nitrite nitrogen to *penaeus vannamei*[J]. *J Aquaculture*, 2002, 1: 22-24.
- [7] 刘海英. 对虾工厂化养殖水质特征及高溶解氧对养殖的影响[D]. 中

- 国海洋大学. 2006.
- LIU Hai-ying, Water quality characteristic of industrial shrimp farming and effects of higher dissolved oxygen on its farming [D]. *Ocean university of China*, 2006.
- [8] 张才学, 劳 赞, 廖宝娇, 等. 珠海地区凡纳滨对虾淡水养殖池浮游植物群落的演替[J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(4):35-40.
- ZHANG Cai-xue, LAO Zan, LIAO Bao-jiao, et al. Phytoplankton community succession of freshwater pool of *Litopenaeus Vannamei* bonne in Zhuhai area[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2006, 26(4):35-40.
- [9] Cremen M C M, Martinez-Goss M R, Corre Jr V L, et al. Phytoplankton bloom in commercial shrimp ponds using green-water technology[J]. *J Appl Phycol*, 2007, 19 :615-624.
- [10] 黄 凯, 王 武, 卢 洁. 南美白对虾幼虾饲料蛋白质的需要量[J]. 中国水产科学, 2003, 10(4):318-324.
- HUANG Kai, WANG Wu, LU Jie. Protein requirements in compounded diets for *penaeus vannamei* juveniles[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(4):318-324.
- [11] 李松青, 林小涛, 李卓佳, 等. 摄食对凡纳滨对虾耗氧率和氮、磷排泄率的影响[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(2):44-48.
- LI Song-qing, LIN Xiao-tao, LI Zhuo-jia, et al. Feeding of effects on metabolism of white pacific shrimp(*Litopenaeus vannamei*)[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2006, 25(2):44-48.
- [12] Schmitt A S, Santos E A. Ammonia-Nefflux rate and nutritional state of juvenile pink shrimp, *penaeus paulensis*(perez-farfante), in relation to food type[J]. *Aquac Res*, 1998, 29:495-502.
- [13] 李 勇, 夏苏东, 于学权, 等. 高密度养殖凡纳滨对虾的蛋白质生态营养需要量[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1):78-87.
- LI Yong, XIA Su-dong, YU Xue-quan, et al. Eco-nutrition requirement of protein in high density *Litopenaeus vannamei* culture system[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(1):78-87.
- [14] Martin P V, Mayra L G, Fernando J B, et al. Investigation of the effects of salinity and dietary protein level on growth and survival of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. *J Word Aquac Soc*, 2007, 38(4):475-485.
- [15] 刘孝竹, 李卓佳, 曹煜成, 等. 低盐度养殖池塘常见浮游微藻的种类组成、数量及优势种群变动[J]. 南方水产, 2009, 5(1):9-16.
- LIU Xiao-zhu, LI Zhuo-jia, CAO Yu-cheng, et al. Common species composition, quantity variation and dominant species of planktonic microalgae in low salinity culture ponds[J]. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(1):9-16.