

## 室内集约化养虾池以低频率运转水处理系统调控水质效果及氮磷收支

臧维玲<sup>1\*</sup>, 侯文杰<sup>1,2</sup>, 戴习林<sup>1</sup>, 杨明<sup>3</sup>, 刘永士<sup>1,2</sup>, 张煜<sup>1</sup>, 丁福江<sup>3</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海水产研究所, 上海 200433;

3. 上海申漕特种水产开发公司, 上海 201516)

**摘要:** 采用低频率运转循环水处理系统(含粗滤器、臭氧仪、气液混合器、蛋白分离器、暗沉淀池等)联用池内设施(微泡曝气增氧机与净水网)开展凡纳滨对虾室内集约化养殖实验。研究了养虾池以水处理系统调控水质效果及氮磷收支。结果表明,养虾水经系统处理后,NO<sub>2</sub>-N(53.4%~64.5%)、COD<sub>Mn</sub>(53.4%~94.4%)与TAN(31.6%~40.4%)被显著去除,有效改进虾池水质;养殖周期内未换水与用药,虾池主要水化指标均控制在对虾生长安全范围,7号实验池(100 d)与8号对照池(80 d)主要水化指标变化范围:DO分别为5.07~6.70 mg/L和4.38~6.94 mg/L,TAN 0.248~0.561 mg/L和0.301~0.794 mg/L,NO<sub>2</sub>-N 0.019~0.311 mg/L和0.012~0.210 mg/L,COD<sub>Mn</sub> 10.88~21.22 mg/L和11.65~23.34 mg/L。7号池对虾生长指数优于8号池(80 d 虾病暴发终止),单位水体产量分别为1.398 kg/m<sup>2</sup>与0.803 kg/m<sup>2</sup>。氮磷收支估算结果:7号与8号池饲料氮磷分别占总收入:氮93.70%与92.37%,磷98.77%与99.09%;初始水层与虾苗含氮共占总收入6.30%与7.63%,磷共占1.23%与0.91%。总水层(含排污水)氮磷分别占总输出:氮56.45%与59.86%,磷53.26%与55.79%;收获虾体氮磷分别占总输出:氮37.07%与31.94%,磷21.37%与13.11%。7号池饲料转化率较高;池水渗漏与吸附等共损失氮磷分别占总输出:氮7.00%与9.34%,磷25.37%与31.10%。实验结果表明,虾池以低频率运转循环水处理系统联用池内设施可有效控制水质与虾病,具较高饲料转化率。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 循环水处理系统; 水质; 饲料; 氮磷收支

**中图分类号:** S 966.1

**文献标志码:** A

自20世纪90年代以来,为节约土地与水资源以及利于提高对虾养殖水平与环境保护,国内外开展了联用滤器、蛋白分离器与臭氧仪等设备对室内集约化养虾废水进行循环处理再利用的实验研究,获得了良好效果<sup>[1-2]</sup>,这种联用设备成本与能耗高、不易管理<sup>[3-5]</sup>。以简易沉淀池、过滤器等连续或间歇循环处理室内集约化养虾水也取得一定效果<sup>[5-7]</sup>,但其技术用于调控规模化养虾水质尚需进一步完善。此两类调控养虾水质方法较

传统室内集约化养殖法具节水、高产、环保等优点。但目前为追求高产、高效,常提高放苗密度、加大饲料投喂量,使虾池中残饵与代谢物增加,这些污染物成为虾池中高浓度颗粒物、可溶性无机与有机氮磷营养物等的重要来源,也是导致虾池与周围水域富营养化的重要原因<sup>[7-9]</sup>。鉴于目前养虾现状与环境保护需要,提高室内养虾水质调控技术,降低水体中营养物含量,已成为当前室内集约化养虾的重要研究内容。对此,Jackson等<sup>[4]</sup>

收稿日期:2013-06-12 修回日期:2013-09-02

资助项目:上海市科委创新行动计划(073919102)

通信作者:臧维玲,E-mail:wzang@shou.edu.cn

认为,应改进养虾废水处理系统设计与应用,改进饲料配方与投喂技术,为此首先应定量了解虾池氮磷营养物的收支平衡等状况。有关室外虾塘氮磷收支与营养研究已有报道<sup>[8-11]</sup>。如斑节对虾(*Penaeus monodon*)封闭式养殖饲料氮磷分别占氮磷总输入 76%~92% 与 70%~91%;氮磷总输入仅 23%~31% 与 10%~13% 为虾所吸收,进入沉积物占 14%~53% 与 39%~67%,最终水层氮磷含量占 14%~28% 与 12%~29%<sup>[11]</sup>。目前,有关室内封闭式养虾池氮磷收支状况报道较少,臧维玲等<sup>[7]</sup>曾作了室内封闭式养虾小水体的氮收支实验研究。本实验在不换水、不用药条件下,联用池内微泡曝气增氧机与人工净水网等设施,低频率运转由臭氧仪、蛋白分离器、粗滤器与暗沉淀池等组成的循环水处理系统调控室内集约化养虾池,通过对养殖周期内主要水质指标及虾体、饲料、水层等含氮磷量的检测,研究了虾池以低频率运转循环水处理系统联用池内设施调控水质效果以及氮磷收支。以期开展室内封闭式养虾水处理系统设计与应用以及人工饲料配方调整提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 养殖实验池与设施

采用上海申漕特种水产开发公司温室具跑道

式结构 7 号与 8 号水泥池分别作凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)集约化淡水养殖实验池与对照池(47.45 m × 14.8 m × 1.68 m),有效养殖水量约 900 m<sup>3</sup>。玻璃屋顶下挂有可调节光强与温度的塑料薄膜,池底中央隆起向两长边倾斜,并横开两条排污沟(400 cm × 30 cm × 30 cm),以铁丝网罩顶,开启排污阀门即可排污。池底中央张挂帆布(37.65 m × 1.70 m),两侧各安放 2 台微泡曝气增氧机(0.75 kW/台),可将鼓风机送入的空气以微气泡( $d = 1 \sim 3 \text{ mm}$ )释放水中,形成含大量气泡乳浊状水流向前流动,4 台增氧机联合作用使全池水绕帆布似作跑道循环流动,形成似自然水流环境。池底按 25 只/100 m<sup>2</sup>布放气石,连续曝气。按 4 片/100 m<sup>2</sup>挂放自制具良好净化水质作用净水网(5.25 m × 0.90 m)<sup>[1,5]</sup>,池底铺设升温管道。虾池及池内设施(增氧机除外)曾用于研究简易设施调控养虾水的实验<sup>[5]</sup>。

### 1.2 实验用虾与用水

实验用虾苗购自厦门淡化苗,经暂养驯化,7 号与 8 号池放养密度分别为 356 尾/m<sup>2</sup>(445 尾/m<sup>3</sup>)与 328 尾/m<sup>2</sup>(437 尾/m<sup>3</sup>),体长与体质量分别为 0.49 cm 与 1.3 mg,将当地山红河水(主要离子含量见表 1<sup>[12]</sup>)经暗沉淀、漂粉精消毒、曝气去余氯后注入虾池,7 号池水尚经臭氧消毒处理。

表 1 山红河主要离子含量

Tab. 1 The main ionic concentrations in Shan Hong River

离子类别 ion category	pH	Ca <sup>2+</sup> / (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> / (mg/L)	Na <sup>+</sup> / (mg/L)	K <sup>+</sup> / (mg/L)	Cl <sup>-</sup> / (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / (mg/L)	碱度/ [mg(CaCO <sub>3</sub> )/L]	硬度/ [mg(CaCO <sub>3</sub> )/L]
离子浓度 ion concentration	7.87	44.09	12.15	57.25	8.50	64.16	156.77	73.65	128.63	160.16

### 1.3 循环水处理系统组成与工艺流程

8 号池仅以池内增氧机与净水网简易设施调控水质,7 号池具相同设施,并以循环水处理系统处理池水(图 1),系统由 A 区与 B 区组成:A 区为虾池水与循环处理水的交换区,由 9 号暗沉淀池(350 m<sup>3</sup>)与 10 号蓄水池(350 m<sup>3</sup>)组成。B 区为循环水处理区,由空压机(7.5 kW)、臭氧发生器(28~30 g O<sub>3</sub>/h)、涡流式气液混合器(1.1 kW)、自制泡沫分离器与粗滤器组成。

循环水处理系统循环处理 7 号池水工艺流程包含 A 区与 B 区 2 种工艺流程(图 1):

A 区养虾水与处理水的交换流程:7 号池水(约 300 t/次)由水泵(2.2 kW)经管道(系统进水口)送入 9 号池,同时由水泵(2.2 kW)将 10 号池

中经系统处理的、储存待用的同量水由管道(系统出水口)送回 7 号池,流量均为 37.5 t/h。

B 区循环水处理流程:7 号池养虾水泵入 9 号池经 3~4 d 暗沉淀后由水泵(2.2 kW,20 t/h)经管道送入粗滤器,随后流入气液混合器与臭氧发生器送出的臭氧充分混合消毒,最后进入泡沫分离器净化后经管道流入 10 号蓄水池。进入 9 号池的养虾水经如此处理后送入 10 号池作进一步沉淀、升温,待下次与 7 号池水交换使用。

至此完成虾池循环水的暗沉淀、过滤、臭氧消毒与泡沫分离等多步处理及与 7 号池水的交换。

养殖周期内,早期虾池水质较好及为避免引起幼虾应激反应,仅在中、后期视 7 号池水质状况 3 次(60、88、94 d)启动系统循环处理池水。

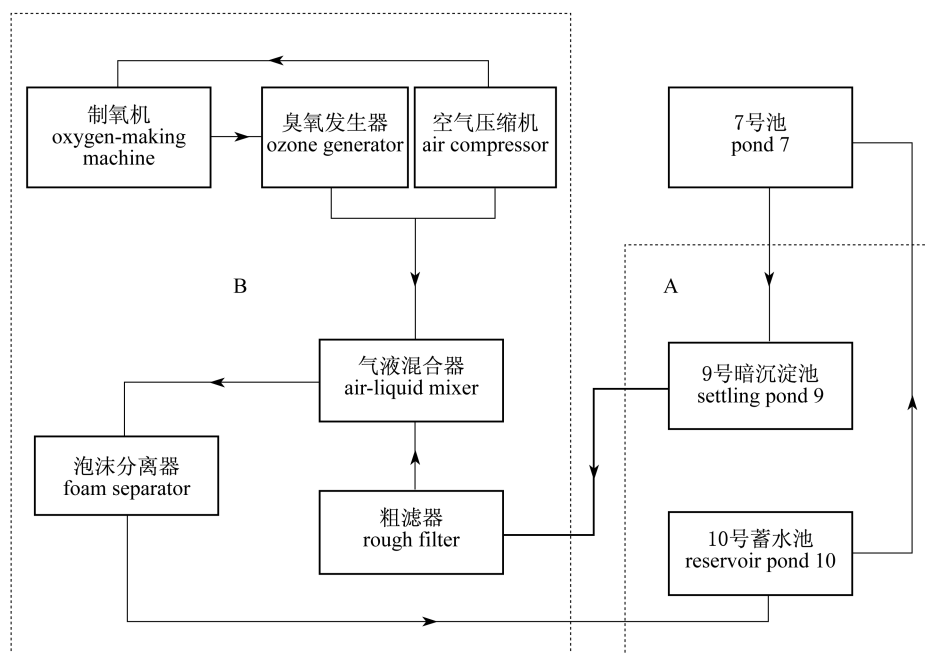


图 1 凡纳滨对虾室内集约化养殖循环水处理工艺流程

箭头:表示水流方向,A:处理水交换区,B:循环水处理区

Fig.1 Flow chart of water circulating-treating for indoor intensive culture of *L. vannamei*

Arrows: water flow direction, A: treatment water exchange area, B: circulating water treatment area

#### 1.4 循环水处理系统处理养虾水质效果测定

启动循环水处理系统时,取系统进出口水样测定 pH,总氨氮(TAN), $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、总氮(TN)与总磷(TP)等指标。

#### 1.5 虾池交换循环处理水后的效果测定

分别取 7 号与 10 号池交换循环处理前与后水样测定上述指标。

#### 1.6 虾池水化学指标及虾体成分等测定

实验期间,于虾池长边中点,每 10 d 在 50 ~ 60 cm 水层采样测定水化学指标,测定方法<sup>[13-14]</sup>:pH:PHB-4 型 pH 计;TAN:萘氏比色法; $\text{NO}_2\text{-N}$ :重氮-偶氮比色法;硝基氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ ):锌镉还原-重氮偶氮比色法; $\text{PO}_4\text{-P}$ :钼蓝比色法; $\text{COD}_{\text{Mn}}$ :碱性高锰酸钾法;溶解氧(DO):WTW 多参数水质分析仪(德国产);水样 TN:碱性过硫酸钾法(GB 11894-89),水样 TP:钼酸铵比色法(GB 11893-89);虾体与饲料 TN 与 TP:分别用饲料粗蛋白测定方法(GB/T 6432-94)与碱性过硫酸钾法(GB/T5009.87-2003)。

非离子氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}_m$ )质量浓度由 TAN 质量浓度通过下式计算而得<sup>[15]</sup>:

$$C_{\text{NH}_3\text{-N}_m} = C_{\text{TAN}} \times f_{\text{NH}_3\text{-N}_m}$$

$$f_{\text{NH}_3\text{-N}_m} = 1 / [1 + 10^{(\text{pK}_a - \text{pH} + \text{pYH})}]$$

#### 1.7 养殖实验池日常管理

养殖周期内不换水、不用药,适时排污,仅添加排污、蒸发与渗漏损失水量。按 4 次/d 投喂人工配合饲料,据饵料台残饵、虾活动与蜕皮等情况,适时调节投饵量。养殖中后期以泼洒碱液维持池水合适 pH,3 次启动水处理系统循环处理 7 号池水,适时分批清洗净水网。

#### 1.8 对虾生长指标测量

每 10 d 各虾池随机取 20 尾虾测取体长、体质量。体长(体质量)增长(重)率计算式如下:

$$\text{体长增长率}(\%) = \frac{L_t - L_0}{L_0} \times 100$$

$$\text{体质量增重率}(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

$$\text{污染物去除率}(\%) = \frac{C_t - C_0}{C_0} \times 100$$

式中, $L_0$ ( $W_0$ )和 $L_t$ ( $W_t$ )分别为初始与终末虾体长(体质量); $C_0$ 与 $C_t$ 分别为水处理前后污染物浓度。

## 2 结果与分析

### 2.1 循环水处理系统处理养虾水效果

养殖周期内循环水处理系统进出口水质 3 次

测定结果表明,循环水处理系统可极显著去除 ( $P < 0.01$ ),显著去除 TAN 31.6% ~ 40.4% 与增加 pH ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 循环水处理系统进出口水水质指标测定结果

养殖天数/d culture days	水样点 water sampling point	pH	TAN		NO <sub>2</sub> -N		COD <sub>Mn</sub>	
			浓度/(mg/L) concentration	去除率/% removal rate	浓度/(mg/L) concentration	去除率/% removal rate	浓度/(mg/L) concentration	去除率/% removal rate
60	进水口 water inlet	7.46	0.430	31.6	0.076	64.5	18.80	53.4
	出水口 water outlet	8.20	0.294		0.027		8.76	
88	进水口 water inlet	7.80	0.485	40.4	0.088	53.4	19.60	94.4
	出水口 water outlet	8.04	0.289		0.041		1.09	
94	进水口 water inlet	7.68	0.616	36.9	0.102	53.9	16.38	53.7
	出水口 water outlet	8.01	0.389		0.047		7.58	

## 2.2 虾池交换循环处理水的效果

10 号池水为经系统处理后储存的养虾水,水质明显优于 7 号池(表 3),故交换后 7 号池水质得以改进, COD<sub>Mn</sub> 极显著降低 14.4% ~ 24.6%

( $P < 0.01$ ), NO<sub>2</sub>-N 显著降低 22.7% ~ 48.0% ( $P < 0.05$ ), pH 增加 0.14 ~ 0.22, TAN 降低 2.6% ~ 7.0%, 均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 3 交换循环处理水对 7 号池水质的影响

养殖天数/d culture days	池号 pond no.	水交换前后 before and after water exchange	pH	TAN/ (mg/L)	NO <sub>2</sub> -N/ (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> / (mg/L)
60	10		8.24	0.241	0.018	7.62
	7	前 before	7.46	0.430	0.076	18.80
		后 after	7.60	0.413	0.054	14.17
88	10		8.20	0.294	0.027	8.76
	7	前 before	7.80	0.485	0.088	19.60
		后 after	7.96	0.451	0.068	16.32
94	10		8.04	0.289	0.041	10.88
	7	前 before	7.69	0.616	0.102	18.38
		后 after	7.91	0.600	0.053	15.74

## 2.3 养殖周期内虾池水化学演变状况

7 号池养殖周期 100 d, 8 号池养殖 70 余天时, 虾病暴发, 为减少损失, 于 80 d 终止养殖。养殖周期内虽未换水, 但两池主要水化学指标维持较低值, 均处于凡纳滨对虾生长合适范围<sup>[16-19]</sup>, 7 号池虽多养殖 20 d, 水质仍优于 8 号池, 但无显著性差异 ( $P > 0.05$ ) (表 4, 表 5)。两池水温与 pH 由人工控制在对虾适宜生长范围<sup>[10]</sup>, 两池 DO 丰富相近: 5.07 ~ 6.70 mg/L 与 4.38 ~ 6.94 mg/L,

营养盐浓度与 COD<sub>Mn</sub> 均随养殖时间呈波浪式变化。TAN 分别为 0.248 ~ 0.561 mg/L 与 0.301 ~ 0.794 mg/L, NO<sub>2</sub>-N 为 0.019 ~ 0.311 mg/L 与 0.012 ~ 0.210 mg/L, 但实验结束时, NO<sub>3</sub>-N 浓度分别达 34.68 与 15.69 mg/L, 较初始增加 66 倍与 79 倍, 显示室内封闭式养虾 NO<sub>3</sub>-N 高浓度特点<sup>[1,5,7]</sup>。两池 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 平均值均较初始增加 1 倍, COD<sub>Mn</sub> 变化范围 10.88 ~ 21.22 mg/L 与 11.65 ~ 23.34 mg/L。

表 4 养殖周期内 7 号池水化学指标变化状况

Tab. 4 Changes in the water chemical parameters in pond 7 during the culture period

养殖天数/d culture days	温度/℃ temperature	pH	DO/ (mg/L)	TAN/ (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N <sub>m</sub> / (mg/L)	NO <sub>2</sub> -N/ (mg/L)	NO <sub>3</sub> -N/ (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/ (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> / (mg/L)
0	30.6	8.54	6.53	0.388	0.083	0.025	0.514	0.207	11.01
10	30.4	8.35	6.68	0.561	0.084	0.086	1.043	0.216	10.88
20	28.1	8.31	6.14	0.413	0.050	0.027	0.647	0.188	14.66
30	27.7	7.96	5.99	0.518	0.029	0.073	1.631	0.248	13.84
40	26.7	8.26	6.06	0.298	0.030	0.142	1.845	0.317	16.43
50	25.3	7.88	6.67	0.381	0.015	0.311	3.739	0.401	19.60
60	26.0	7.46	5.07	0.430	0.007	0.076	7.450	0.466	18.80
70	26.9	7.52	5.27	0.466	0.009	0.098	10.882	0.568	16.00
80	27.7	7.62	6.70	0.386	0.010	0.019	14.440	0.647	21.22
90	27.4	7.70	6.12	0.248	0.008	0.094	25.165	0.588	18.76
100	28.1	7.52	5.87	0.454	0.010	0.022	34.676	0.702	17.30
平均值 ±	27.7 ±	7.95 ±	6.10 ±	0.413 ±	0.036 ±	0.088 ±	9.28 ±	0.413 ±	15.95 ±
标准差	1.6	0.45	0.55	0.090	0.042	0.084	11.37	0.191	3.28

表 5 养殖周期内 8 号池水化学指标变化状况

Tab. 5 Changes in the water chemical parameters in pond 8 during the culture period

养殖天数/d culture days	温度/℃ temperature	pH	DO/ (mg/L)	TAN/ (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N <sub>m</sub> / (mg/L)	NO <sub>2</sub> -N/ (mg/L)	NO <sub>3</sub> -N/ (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/ (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> / (mg/L)
0	32.4	8.66	6.34	0.398	0.117	0.012	0.197	0.181	11.65
10	31.8	8.63	5.74	0.611	0.123	0.081	1.330	0.243	12.70
20	29.3	8.27	6.23	0.441	0.054	0.063	0.709	0.155	16.32
30	28.8	7.98	6.64	0.510	0.033	0.088	1.811	0.222	17.49
40	27.2	8.29	6.59	0.301	0.033	0.210	2.977	0.344	17.28
50	25.5	8.01	6.94	0.347	0.019	0.126	4.224	0.414	14.40
60	26.2	7.55	6.22	0.422	0.009	0.046	8.402	0.497	18.32
70	28.0	7.44	4.38	0.794	0.015	0.080	11.562	0.561	22.80
80	28.4	7.50	6.86	0.459	0.010	0.117	15.694	0.690	23.34
平均值 ±	28.6 ±	8.08 ±	6.22 ±	0.476 ±	0.046 ±	0.091 ±	5.212 ±	0.367 ±	17.14 ±
标准差	2.3	0.53	0.78	0.149	0.044	0.056	5.459	0.186	4.03

## 2.4 养殖效果

表 6 为 7、8 号池凡纳滨对虾养殖效果。表 6 表明,7 号池收获虾体质量与体长极显著好于 8

号池 ( $P < 0.01$ ),成活率增加 10.4%,故 7 号池虾产量 ( $1.398 \text{ kg/m}^2$ ) 为 8 号池 ( $0.803 \text{ kg/m}^2$ ) 1.7 倍。

表 6 养殖池凡纳滨对虾养殖效果

Tab. 6 The effect of *L. vannamei* culture in culture ponds

池号 pond no.	养殖天数/d culture days	平均体长/cm average body length	平均体质量/g average body weight	单位水体产量/( $\text{kg/m}^2$ ) specific yield		成活率/% survival rate	饵料系数 food conversion ratio
7	100	8.70 ± 0.46	8.17 ± 1.29	1.398	1.035	49.0	1.14
8	80	8.20 ± 0.32	6.48 ± 0.79	0.803	0.669	38.6	1.23

## 2.5 虾池氮磷收支状况

虾池氮磷输入状况 估算两虾池氮磷收支

时,将 7 号池与循环水处理系统视为一封闭系统,8 号池单独成一系统。氮磷输入途径包含初始水

层、虾苗与投喂饲料。虾池氮磷主要来自饲料,7号、8号池饲料氮分别占氮总输入 93.70% 与 92.37% (表 7),饲料磷分别占磷总输入 98.77%

与 99.09% (表 8),初始水层与虾苗合计输入氮占氮总输入 6.30% 与 7.63%,初始水层与虾苗合计输入磷占磷总输入 1.23% 与 0.91%。

表 7 凡纳滨对虾养殖池氮收支状况

Tab. 7 Nitrogen inputs and outputs in culture ponds of *L. vannamei*

池号 pond no.	氮输入/% nitrogen input			氮输出/% nitrogen outputs					
	饲料 feed	水层 water	虾苗 shrimp larva	收获虾 harvested shrimp	水层 water	水处理系统 water treating system	排污水 drainage	净水网吸附 water purifying net absorption	其他 others
7	93.70	6.29	0.01	37.07	30.20	21.01	5.24	0.52	6.48
8	92.37	7.61	0.02	31.94	55.76		4.10	1.14	8.20

表 8 凡纳滨对虾养殖池磷收支状况

Tab. 8 Phosphorus inputs and outputs in culture ponds of *L. vannamei*

池号 pond no.	磷输入/% phosphorus input			磷输出/% phosphorus output					
	饲料 feed	水层 water	虾苗 shrimp larva	收获虾 harvested shrimp	水层 water	水处理系统 water treating system	排污水 drainage	净水网吸附 water purifying net absorption	其他 others
7	98.77	1.22	0.01	21.37	32.85	15.35	5.06	4.89	20.48
8	99.09	0.90	0.01	13.11	51.69		4.10	6.47	24.63

虾池氮磷输出状况 氮、磷输出途径包含终止养殖时收获虾、虾池水层、排污水、网片吸附与含渗漏等的其他途径,7号池尚含水处理系统存水。因增氧机运转使虾池水始终处于循环流动状态,加之气石曝气作用,水层中悬浮物难以沉积于池底,且养殖期间多次排污,使池底沉积物甚少,故在虾池氮磷支出估算中将池壁、池底、与帆布等吸附量以及蒸发、渗漏等损失量合称“其他”支出。两池氮、磷主要输出途径为虾池水层:7号池总水层(含水层+水处理系统存水+排污水)含氮、磷分别占氮、磷总输出 56.45% 与 53.26%,8号池总水层(水层+排污水)分别占 59.86% 与 55.79%。两池收获虾吸收氮分别占氮总输出 37.07% 与 31.94%,吸收磷占 21.37% 与 13.11%,7号池显示较高饲料利用转化率。7号池壁、底、帆布与净水网吸附以及蒸发、渗漏等损失氮与磷量分别占总输出 7.00% 与 25.37%,8号池 9.34% 与 31.10%。

### 3 讨论

于养殖 60、88、94 d 3 次启动水处理系统循环处理 7 号池水,使养虾水重要水质指标  $\text{NO}_2\text{-N}$ 、TAN 与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  被显著去除,故当 7 号池换入约三分之一系统处理后, $\text{COD}_{\text{Mn}}$  与  $\text{NO}_2\text{-N}$  得以显著改进。此正如臧维玲等<sup>[1]</sup>室内养虾水质调控研

究实验所指出,蛋白分离器可较好去除养殖水中有机物、TAN 与  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,臭氧对水中细菌杀灭率达 99.3%,弧菌几乎杀尽,显示了臭氧极强的广谱性杀菌能力。由此可见,8号池即使水化指标近于 7 号池,但无杀菌设施,80 d 时因暴发细菌性虾病而夭折。可见循环水处理系统确保了 7 号池良好的水质,养殖持续 100 d 获良好养殖效果,显示循环水处理系统在室内不换水集约化养殖中的重要作用<sup>[1-2]</sup>。

虽两池放苗密度较高,但曝气增氧机良好的增氧功能<sup>[20]</sup>使两池溶氧量丰富。净水网为微生物良好附着基,易形成生物膜,有助于降低池水三态氮与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ,对调控水质起重要作用<sup>[1,5]</sup>,且养殖周期内,虾池温度适宜硝化与反硝化作用<sup>[21-23]</sup>,故两池三态氮变化特点显示了池内存有硝化与反硝化作用。8号池水质指标变化特点表明,在养殖 30~50 d 期间, $\text{COD}_{\text{Mn}}$  下降 18%,按理将相应转化为 TAN,但 TAN 无增却下降 32%, $\text{NO}_2\text{-N}$  与  $\text{NO}_3\text{-N}$  均有所增加,显现了氨化、硝化与反硝化综合作用的特点;50~80 d 时,随虾池残饵、粪便等日渐增多, $\text{COD}_{\text{Mn}}$  陡增 60%,此与氨化菌易繁殖,世代较短有关<sup>[24]</sup>,池中存有较强氨化作用,使 TAN 变化范围显示高值,其中 40~50 d 时, $\text{NO}_2\text{-N}$  升至最高值范围,但到 60 d 时剧降 60%,相应  $\text{NO}_3\text{-N}$  增加一倍,此后  $\text{NO}_2\text{-N}$  一直维

持低值。可见池中已建立较强硝化作用<sup>[21]</sup>。硝化作用可将 TAN、NO<sub>2</sub>-N 及时转化为 NO<sub>3</sub>-N,但池内反硝化去氮作用尚不足以强烈降低 NO<sub>3</sub>-N 浓度,导致其随时间递增。虾池水此变化特点符合 Thakur 等<sup>[11]</sup>封闭式养虾实验的结果:8 周养殖池建立硝化作用,Mevel 等<sup>[25]</sup>持相同观点。同期 7 号池也具类似变化特点。可见,80 d 内虾池简易设施可良好调控主要水化学指标。利用低频率运转水处理系统,联用池内设施可有效维持室内封闭式集约化养虾池主要水质指标在虾生长安全范围,防止虾病暴发,具节能、节水、易管理、环保等特点。

养殖系统基本以投喂饲料为氮、磷主要输入途径,通常各分别占总输入 70%~90% 以上<sup>[4,6-8]</sup>,两池氮、磷收支估算具类似结果:7、8 号池饲料氮、磷占总输入比例均较高:92%~99%,此与虾池高密度布苗有关<sup>[6,11,26]</sup>;两池初始水层与虾苗含氮磷量占总输入比例均甚低,7 号池收获虾体氮与体磷占总输出比例(N:37.07%;P:21.37%)高于一般资料报道<sup>[4,6-8,11]</sup>,其中 Briggs 等<sup>[6]</sup>收获虾体氮与磷分别占总支出 24%与 13%,Thakur 等<sup>[11]</sup>收获虾体氮与磷占 23%~31%与 10%~13%。据收获虾体氮磷占氮磷总输出量比例与虾产量等可算得,每生产 1 kg 虾,7 号池损失 52 g N,15 g P。Thakur 报道<sup>[11]</sup>,每生产 1 kg 虾,损失 70 g N,13 g P。李玉全等<sup>[26]</sup>报道,精养 1 kg 对虾,损失 90 g N。实验虾池单位水体产量也远高于资料<sup>[11,26]</sup>报道。可见 7 号池虾营养物质利用率较高,此与水质较好、严格控制投饵量有关。因增氧机与气石曝气作用使池水中残饵与排泄物等难以沉积池底,因而使总水层中氮、磷为总输出的主要途径,均占氮、磷总输出 53%以上。此特点有别于不换水泥底与易形成沉积物的虾池,后两者沉积物氮、磷常为氮、磷总输出的主要途径。如 Thakur 等<sup>[11]</sup>泥底池中底泥氮、磷占氮、磷总输出 52.8%与 66.7%,水层氮、磷仅占 14.1%与 12.4%。以玻璃钢水槽集约化养虾,沉积物氮、磷输出占氮、磷总输出 30.9%~43.9%与 51.5%~62.3%,水层氮与磷占 27.5%~36.3%与 8.4%~23.9%<sup>[26]</sup>。此因池底泥或淤积物对氮磷的吸附作用导致池中残饵、排泄物等迅速下沉积累于沉积物中<sup>[11]</sup>。上述虾池<sup>[11,26]</sup>水层与沉积物两处含氮、磷量占总输出比例总和分别约为 N:58%~

80%,P:60%~86%,7、8 号池水层(含排污)含氮、磷量占总输出约 56%与 53%,低于前者范围。可见,虽然虾池总水层输出氮磷比例较高,但其近似于通常不排污泥底或易形成沉积物塘所包含水层与沉积物两处氮磷的总和,此与臧维玲等<sup>[7]</sup>报道相似。两池因吸附、蒸发、渗漏等损失氮与磷分别占总输出:氮 7%~9%,磷 25%~31%。Thakur 等<sup>[11]</sup>报道,氮、磷在蒸发、渗漏等输出分别占氮、磷总输出 36.0%与 19.7%,其认为是底泥吸附、TAN 挥发与反硝化等所致。这些作用在虾池中普遍存在。实验虾池壁、底、帆布与净水网等具较大面积,在与池水相接触中对氮磷必产生吸附作用,特别是对磷的吸附作用更强,此部分磷占磷总输出比例远高于氮也说明了这一点,池中氮的损失和硝化与反硝化作用也有关<sup>[4,8,11]</sup>。

#### 4 结语

(1) 联用池内简易设施低频率运转循环水处理系统可有效调控室内不换水集约化养虾池水质及防止虾病暴发。具成本较低、节能、节水、易管理与环保等特点。为进一步改进虾池水质,可适当增加水处理系统运转次数。

(2) 以循环水处理系统调控虾池,投入饲料为氮、磷总输入的主要途径,收获虾营养利用率高,总水层(池水+排污水+水处理系统存水)氮、磷输出比例最高,低于通常泥底虾塘水层与沉积物总和。

#### 参考文献:

- [1] 臧维玲,戴习林,徐嘉波,等.室内凡纳滨对虾工厂化养殖循环水调控技术与模式[J].水产学报,2008,32(5):749-757.
- [2] Davis D A, Arnold C R. The design, management and production of a recirculating raceway system for the production of marine shrimp [J]. Aquaculture Engineering, 1998, 17(3):193-211.
- [3] Cohen J M, Samocha T M, Foxb J M. Characterization of water quality factors during intensive raceway production of juvenile *Litopenaeus vannamei* using limited discharge and biosecure management tools [J]. Aquacultural Engineering, 2005, 32(3-4):425-442.
- [4] Jackson C, Preston N, Thompson P J, et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm [J]. Aquaculture, 2003, 218(1

- 4);397-411.
- [5] Zhang W L, Yang M, Dai X L, *et al.* Regulation of water quality and growth characteristics of indoor raceway culture of *Litopenaeus vannamei* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 7(4):740-747.
- [6] Briggs M R P, Funge-Smith S J. A nutrient budgets of some intensive marine shrimp culture ponds in Thailand [J]. Aquaculture Research, 1994, 25(8):789-811.
- [7] 臧维玲, 杨明, 戴习林, 等. 凡纳滨对虾室内封闭式养殖水质变化与氮收支的实验研究 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5):1019-1024.
- [8] 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.
- [9] Wahab M A, Bergheim A, Braaten B. Water quality and partial mass budget in extensive shrimp ponds in Bangladesh [J]. Aquaculture, 2003, 218(1-4):413-423.
- [10] 王兴强, 马姓, 董双林. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学研究进展 [J]. 海洋湖沼通报, 2004(4):94-100.
- [11] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems [J]. Aquaculture Engineering, 2003, 27(3):159-176.
- [12] 侯文杰. 室内淡水养殖对虾水质精细处理效果与氮磷收支估算 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [13] 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水检测分析方法(第4)(版增补版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002:200-284.
- [14] GB 17378.4-1998. 海洋监测规范第4部分海水分析 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [15] Alabaster J S, Lloyd R. Water quality criteria for freshwater fish (2<sup>nd</sup> edit) [M]. London: University Press of Cambridge, 1982:85-87.
- [16] 彭自然, 臧维玲, 高杨. 氨和亚硝酸盐对凡纳滨对虾幼虾的毒性影响 [J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(3):274-278.
- [17] 臧维玲, 戴习林, 罗春芳, 等. 氨、亚硝酸盐和硝酸盐对凡纳滨对虾幼虾的毒性作用 [J]. 水产科技情报, 2005, 32(6):42-46.
- [18] Lin Y C, Chen J C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels [J]. Aquaculture, 2003, 224(1-4):193-201.
- [19] Lin Y C, Chen J C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 259(1):109-119.
- [20] 臧维玲, 张煜, 戴习林, 等. 人工湿地联合塘内设施调控生产性虾塘水环境的效果与技术 [J]. 水产学报, 2012, 36(4):568-575.
- [21] 臧维玲, 朱正国, 张建达, 等. 简易过滤装置对罗氏沼虾亲虾越冬池水质的净化作用 [J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(1):20-26.
- [22] 马娟, 彭永臻, 王丽, 等. 温度对反硝化过程的影响以及 pH 值变化规律 [J]. 中国环境科学, 2008, 28(11):1004-1008.
- [23] 徐亚同. pH 值, 温度对反硝化的影响 [J]. 中国环境科学, 1994, 14(4):308-313.
- [24] 马悦欣, 刘长发, 邵华, 等. 两种载体生物膜中异养细菌数量动态及其氨化作用 [J]. 大连水产学院学报, 2004, 19(2):138-141.
- [25] Mevel G, Chamroux S. A study on nitrification in the presence of prawn (*Penaeus japonicus*) in marine closed systems [J]. Aquaculture, 1981, 23(1-4):29-43.
- [26] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 养殖密度对工厂化对虾养殖池氮磷收支的影响 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(6):926-931.



## Effect of regulating-controlling water quality by water recycling-treating system at low frequency and nutrient budgets for indoor intensive shrimp aquaculture

ZANG Weiling<sup>1\*</sup>, HOU Wenjie<sup>1,2</sup>, DAI Xilin<sup>1</sup>, YANG Ming<sup>3</sup>, LIU Yongshi<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu<sup>1</sup>, DING Fujiang<sup>3</sup>

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China;

3. Shanghai Shencao Special Fisheries Development Company, Shanghai 201516, China)

**Abstract:** An experiment was conducted for indoor intensive culture of *Litopenaeus vannamei* for a period of 80 – 100 d for the purpose of studying the effect of water quality regulating and controlling by water recycling-treating system at low frequency combined with in-pond facilities and the nutrient budgets for indoor intensive shrimp aquaculture. The water recycling-treating system consisted of rough filter, ozonator, air-liquid mixer, foam separator, dark sedimentation pond etc. In-pond facilities contained microvesicle aerators and water purifying nets. Two culture ponds termed as pond 7 and pond 8 were set as experimental and control pond respectively. There were no water exchange and medicine use in both ponds during the culture period. Same in-pond facilities were used in both ponds and 30% of the total volume of water from pond 7 was circularly treated with the water recycling-treating system at 60, 88 and 94 d during culture 100 d, respectively, while no water recycling-treating system was used in pond 8. The results showed that the system could significantly remove  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  and TAN in culture wastewater by 53.4% – 64.5%, 53.4% – 94.4% ( $P < 0.01$ ) and 31.6% – 40.4% ( $P < 0.05$ ). TAN and  $\text{NO}_2\text{-N}$  in both shrimp culture ponds remained low and in the safe range for shrimp growth during the culture period while culture in pond 8 was terminated on the 80th day because of the outbreak of shrimp disease. The main water quality parameters in pond 7 and pond 8 during the culture period were as follows: DO 5.07 – 6.70 mg/L and 4.38 – 6.94 mg/L, TAN 0.248 – 0.561 mg/L and 0.301 – 0.794 mg/L,  $\text{NO}_2\text{-N}$  0.019 – 0.311 mg/L and 0.012 – 0.210 mg/L,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  10.88 – 21.22 mg/L and 11.65 – 23.34 mg/L. The shrimp growth index in pond 7 was better than that in pond 8. The per unit yields in pond 7 and pond 8 were 1.398 kg/m<sup>2</sup> and 0.803 kg/m<sup>2</sup> respectively. The results of nutrient budgets in culture ponds showed that the major source of nutrient input was feed which accounted for 93.70% in pond 7 and 92.37% in pond 8 of total nitrogen inputs. 98.77% in pond 7 and 99.09% in pond 8 of total phosphorus inputs were from feed. Original culture water and juvenile shrimp provided 6.30% and 7.63% of the total nitrogen input, while 1.23% and 0.91% of the total phosphorus input in corresponding ponds. The major output of nitrogen and phosphorus (56.45% and 53.26% in pond 7, and 59.86% and 55.79% in pond 8) were culture water including effluent. 37.07% nitrogen and 21.37% phosphorus of total outputs in pond 7, and 31.94% nitrogen and 13.11% phosphorus in pond 8 were transformed into harvested shrimp finally, so the feed conversion rate for pond 7 was higher. 7.00% nitrogen and 25.37% phosphorus of total outputs in pond 7, and 9.34% nitrogen and 31.10% phosphorus in pond 8 were the results of water leakage and adsorption. The experiment results showed that the water recycling-treating system operating at low frequency combined with in-pond facilities could effectively improve the water quality in pond even with no water exchange and medicine usage during culture period, increased feed conversion rate and ensured a good harvest.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; circulating water treatment system; water quality; feed; nitrogen and phosphorus budgets

**Corresponding author:** ZANG Weiling. E-mail: wlzang@shou.edu.cn