

文章编号: 1000-0615(2008)05-749-09

室内凡纳滨对虾工厂化养殖循环水调控技术与模式

臧维玲¹, 戴习林¹, 徐嘉波¹, 袁志国¹, 彭自然¹, 杨明¹, 徐桂荣², 丁福江²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090;

2. 上海申漕特种水产开发公司, 上海 201516)

摘要: 利用臭氧仪、泡沫分离器和粗滤器等组成的循环水处理系统开展室内凡纳滨对虾工厂化养殖。养殖初始用水及在每次循环处理前的来自虾池的循环水, 均置于消毒池以臭氧处理 4 h、曝气 2 h, 初始水经处理细菌总数约杀灭 99%, 弧菌量小于 $1 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。试验期间, 按 4~6 d 间隔, 以水处理系统循环处理养殖水 12 h, 以去除氨氮、亚硝基氮、有机物、悬浮物与细菌等。养殖约 60 d 后, 视水质监测结果增加粗滤和泡沫分离次数, 并辅以生石灰水调节循环水 pH。在 128 d 全程养殖中, 未用药和换水, 水处理系统有效控制养殖水质指标在虾生长合适范围内, 试验池各指标平均值为: 浊度 13.9 NTU, pH 8.08, 氧化还原电位 399 mV, $\text{NH}_3\text{-N}_i$ ($\text{NH}_3\text{-N}_m$) 0.267 (0.015) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ $0.203 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD_{Mn} $10.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。同时获得良好的养殖效果: 收获虾平均体重 13.56 g, 成活率 59.6%, 单位水体产量 $4.27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 饵料系数 1.01。据试验结果与凡纳滨对虾养殖特点, 提出了虾类室内工厂化养殖循环水调控模式。

关键词: 凡纳滨对虾; 臭氧; 泡沫分离器; 粗滤器; 水处理; 水质指标; 工厂化养殖

中图分类号: S 968.22

文献标识码: A

目前我国大部分地区对虾养殖仍采用高密度、高换水率的传统生产方式, 有些地区尚滥用药, 因此造成耗水、耗能、产品质量差等后果, 水环境也受到污染, 最终导致生态环境破坏, 进一步加剧病害发生, 对养殖业构成灾害性的威胁^[1-6]。因此开发节水、节能、高产、环保的养殖模式是当代水产养殖业持续发展的迫切需求。

探索和建立适合我国的工厂化养虾模式, 水质调控新技术和新模式是养殖业当今研究的重要内容之一。工厂化循环水养殖模式是以维持良好而稳定的生态环境为特点, 关键技术是养殖用水的处理和调控。自 20 世纪 60 年代以来, 日本、美国、德国、加拿大、丹麦等国已开展循环水养殖^[7-8]。目前我国工厂化养殖设施的研制尚处在发展阶段, 大部分鱼虾等养殖场水处理技术与设施均较简单。海水鱼类工厂化养殖虽已形成一定规模, 但水处理设施极其简易^[9-10], 本试验在臧

维玲等^[11]提出的凡纳滨对虾幼虾室内养殖循环水调控技术基础上, 据养殖用水状况和我国对虾养殖技术规范, 结合有关新技术, 进行了室内凡纳滨对虾循环水工厂化养殖试验, 据试验结果提出了虾类室内工厂化养殖循环水调控模式, 研究结果将为虾类循环水健康养殖提供科学与实践依据, 将利于促进水产养殖业的可持续发展。

1 材料与amp;方法

1.1 养殖试验池、用水与试验虾

采用上海申漕特种水产开发公司 5 号房 102 号与 106~110 号 6 口育苗池进行凡纳滨对虾养殖试验, 虾池简况见表 1。试验用水为当地河口水(盐度 14), 使用前经纳水河、贮水消毒池, 暗沉淀池三级沉淀与消毒, 再以筛绢网过滤后作为试验用水, 水温以热水管道控制为 $(28 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, 连续曝气。试验用凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*) 苗

收稿日期: 2007-07-13

资助项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农攻字(2003)第 8-4 号]

作者简介: 臧维玲(1938-), 女, 山东烟台人, 教授, 主要从事渔业水环境及其调控研究。E-mail: wlzang@shou.edu.cn

种购自厦门,经暂养后用于试验。

表 1 试验池简况
Tab. 1 The briefs of test ponds

池号池 pond no.	面积(m ²) pond area	水深(m) water depth	放养密度 stocking density	
			ind·m ⁻³	ind·m ⁻²
102	18.00	1.10	628	691
108*	20.59	1.10	551	606

注: * 表示 106~110 号池情况与 108 号池相同

Notes: * means ponds 106-110 are as the same as pond 108

1.2 水质指标测定方法

定时测定养殖试验池水 pH、三态氮、COD、溶解氧以及细菌总数与弧菌数(由其他组测定),据水质变化状况进行相应调控。测定方法如下: pH:pHB-4 型酸度计;氧化还原电位(ORP)与 pH:pHS-3C 型酸度计;总氨氮(NH₃-N_t):萘氏比色法;NO₂⁻-N:重氮-偶氮比色法;COD_{Mn}:碱性高锰酸钾法;浑浊度:SZD-1 型散射光台式浊度仪;溶解氧:修正碘量法^[12-13]。非离子氨氮(NH₃-N_m)浓度由总氨氮(NH₃-N_t)浓度通过下式计算求得^[14]:

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

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

1.3 养殖试验池日常管理

布苗水深为 50 cm,30 d 内逐加淡水至满池,最终池水盐度约降为 3。试验期间每天定时观察虾摄食、活动与蜕皮等情况,定时按常规投喂人工配合饲料(6 次·d⁻¹),每 10 天测定水质指标和虾生长状况;试验过程中据残饵等积累情况适时排污,适时添加因排污和蒸发所损失水量;养殖试验至 50~60 d 时,沿池边悬挂网片,以防虾跳出;养殖中晚期(约 40 d 后)每 4~5 天检测 pH,据结果适时向 103 号池泼洒生石灰液,以便通过水循环维持养殖池水 pH 为 7.5~8.5 的合适范围^[15]。

1.4 水处理系统水质调控方式与技术

仪器设备 水处理系统(简称系统)由 6 部分组成:ZXY-30 型臭氧发生器(产 O₃ 量 30 g·h⁻¹)、ZW-0.24/7 型无油润滑空气压缩机、LM-40 型涡流式气液混合器(功率 750 W)、罗茨鼓风机以及自制泡沫分离器(简称分离器)与粗滤器。

养殖循环水处理方式与工艺 循环水处理分为 A 与 B 两部分,A 部分为循环水消毒处理区

(图 1)。水处理过程:103 号池为臭氧消毒池(规格同 102 号池),其进出水口以管道(简称进排水连接管道)与 6 口养殖池进排水口相应连接。103 号池水经水泵(功率 3 kW,流量 20 t·h⁻¹)送入粗滤器以去除较大颗粒物,继之流入气液混合器与由臭氧发生器输送的臭氧充分混合消毒,部分消毒水进入分离器再净化后与另一部分未经后者分离净化的水一起流回 103 号池,经 2 h 曝气去除残余臭氧后即可做循环水使用。B 部分为养殖池与 103 号池水循环处理区,其在试验期内,于前后两次臭氧消毒间隔期间,进行养殖池水循环处理。池水边处理边循环的流程为:先将 103 号池与 6 口池连通,用水泵(流量 20 t·h⁻¹)将 103 号池水经三通管送入粗滤器,再进入气液混合器与罗茨鼓风机输送的空气充分混合后,部分水进入分离器再净化后与另一部分未经后者分离净化的水一起流回 103 号池;与此同时,三通管将经上述反复处理的 103 号池水由进水连接管道送入 6 口池。因初始控制 103 号池水位低于养殖池,借助水位差将养殖池水由排水口经排水连接管道流回 103 号池。据水泵流量(20 t·h⁻¹)与循环水分流情况及 6 口池水量(低于 120 t)等估算,需 10~12 h 可将 6 口池水循环处理 1 遍,据此时间与试验期间水质检测结果适时调整消毒与循环处理时间。各试验池中尚挂放自行研制的 4 张水质净化网(5 m×0.9 m),网孔呈菱形,孔边系有易附着生物膜的维纶丝。

臭氧处理装置水处理效果测定 臭氧处理装置由臭氧仪、气液混合器等组成。将臭氧处理装置用水泵(20 t·h⁻¹)通过水管与 103 号消毒池接通循环处理未曾使用的初始水,池水每处理一遍约需 1 h。4 h 处理过程中,每隔 1 h 取池水测定 pH、NH₃-N_t、NO₂⁻-N、COD_{Mn}、细菌总数与弧菌数,以获取臭氧装置对 103 号池水的合适处理时间。

泡沫分离器工作效果测定 103 号池水由水泵通过管道送入分离器,处理一遍约需 1 h。在开启处理至 50、60、70 min 时,分别取 103 号池水、分离器顶部产生的新鲜泡沫、分离器出口水样,测定 pH、NH₃-N_t、NO₂⁻-N、COD_{Mn} 及微生物量,以了解分离器净化水质效果。

系统循环水处理效果测定 当养殖试验进行至一定时间时,将水处理系统和 6 口试验池以

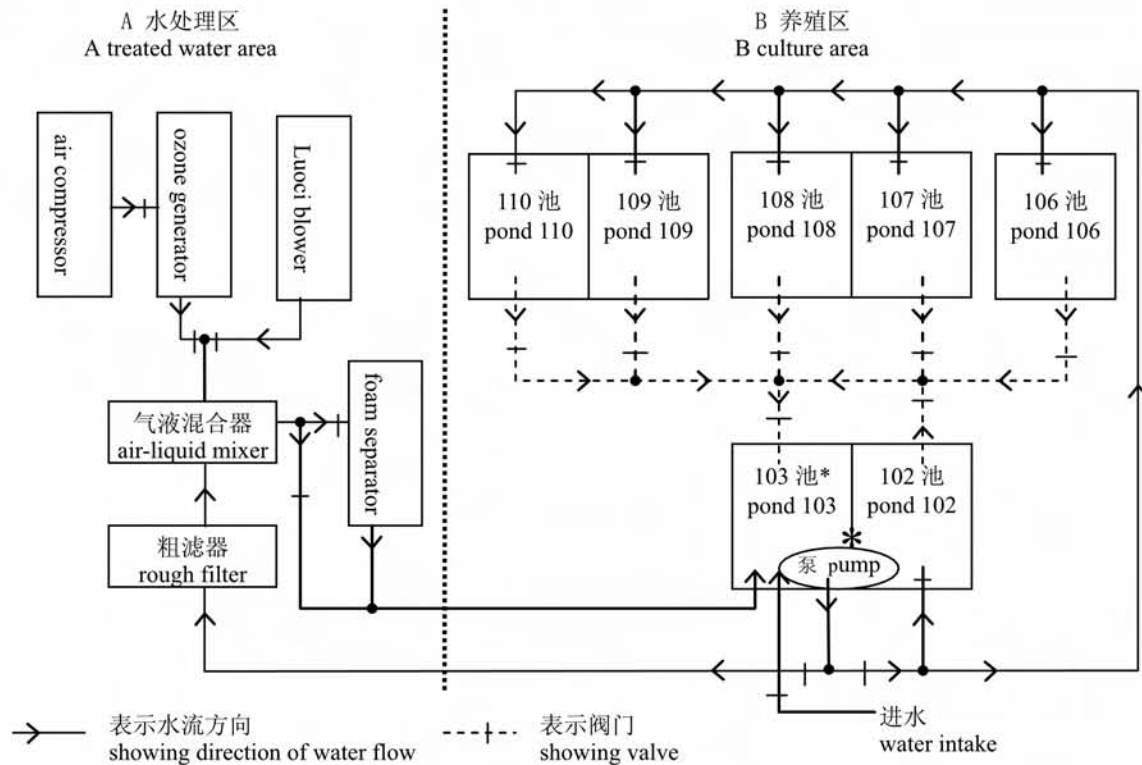


图1 室内凡纳滨对虾养殖池循环水处理工艺流程

103 池为消毒池

Fig. 1 Flowchart of circulating water in culture ponds of *Penaeus vannamei* in indoor pond 103 is used as the sterilizing pond

及 103 号池水连通循环处理一次(10~12 h)时,测定循环前后池水 pH、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 的变化,以了解系统对循环水处理效果,并据此调节合适循环处理时间。

系统循环处理养殖水合适时间间隔的测定随养殖时间增加,103 号池与养殖池水质将有所下降,故选养殖早(40 d 内)、中(80 d 内)或晚(80 d 后)期,于前后两次循环处理养殖池水间隔期内,定时测定池水主要水质指标变化情况,据此及养虾水质要求,选择水处理系统前后两次消毒处理循环水的合适间隔时间。

2 结果与讨论

2.1 臭氧处理水质效果

在 103 号池水以臭氧处理装置循环处理 4 h 期间,不同时间水质测定结果列于表 2。由表 2 可知,103 号池水经 4 h 循环处理,pH、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 COD_{Mn} 无明显变化; $\text{NO}_2\text{-N}$ 随时间延长而降低,至 3 h 时,未检出;细菌总数杀灭率随消毒时间延长而增加,经 1 h 处理,杀灭率为 56.2%,弧菌所剩极少,至 4 h 时,细菌杀灭率达 99.3%。此结果正是臭氧具广谱杀菌,且杀菌力强等优点的

表 2 臭氧对 103 号池初始水不同处理时间的效果

Tab. 2 The effect of ozone on treating initial water in pond 103

处理时间(h) treating time	pH	COD_{Mn} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	细菌总数($\text{cell}\cdot\text{mL}^{-1}$) bacteria	弧菌数($\text{cell}\cdot\text{mL}^{-1}$) vibrio
0	8.13	5.84	0.099	0.031	8450	1
1	8.18	6.10	0.164	0.010	3700	<1
2	8.21	6.03	0.188	0.010	255	<1
3	8.27	5.97	0.272	未检出	110	<1
4	8.27	6.79	0.099	0.004	60	<1

显示,但对水化学指标的改善程度弱于前者,这也是当前国内外广泛使用臭氧净化养殖用水的原因,有关资料也报道了臭氧处理水的这一特点^[11,16-22]。池水经臭氧处理后细菌与弧菌量在有关资料^[11,23]提出的安全范围内,故试验期间,臭氧循环处理103号池水时间定为3~4 h,不同养殖期,据水质状况须予以调节。

2.2 泡沫分离器工作效果

当养殖至60 d时,将103号池水仅连通分离器进行6 h循环处理,循环处理至50、60、70 min与6 h时所取103号池水、分离器顶部产生的新鲜泡沫、分离器出口水测定的水质指标,分别列于

表3、表4。结合此两表可知,待泡沫放置成液体时,测得pH为8.11明显低于其出口水(8.22~

表3 泡沫分离器循环处理103号池水效果

Tab. 3 The effect of foam separator to circ-treating water in pond 103

处理时间(min) treating time	pH	COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N _t (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)
0	8.20	6.88	0.104	0.069
50	8.22	6.88	0.244	0.068
60	8.22	7.07	0.226	0.068
70	8.24	7.00	0.195	0.066
360	8.33	6.26	0.224	0.092

表4 103号池水以泡沫分离器按不同循环处理时间出口水和泡沫液的水化指标测定值

Tab. 4 The hydrochemical criteria of the foam liquid and outlet water of separator for circ-treating the water in pond 103 by foam separator with different time

处理时间(min) treating time	pH		COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)		NH ₃ -N _t (mg·L ⁻¹)		NO ₂ ⁻ -N(mg·L ⁻¹)	
	泡沫液 foam liquid	出口水 outlet water	泡沫液 foam liquid	出口水 outlet water	泡沫液 foam liquid	出口水 outlet water	泡沫液 foam liquid	出口水 outlet water
50	8.11	8.22	403.10	6.70	0.585	0.221	0.124	0.065
60	8.11	8.24	446.52	6.33	0.650	0.192	0.128	0.067
70	8.11	8.24	393.80	6.82	0.780	0.187	0.130	0.066
360	8.30	8.24	334.89	6.72	0.384	0.177	0.186	0.067

8.24)及103号池(8.20~8.33),此说明分离器可去除水中酸性物质,提高养殖水体pH。Rubin等^[24]也曾报道同样研究结果。泡沫中COD_{Mn}含量明显高于相应时间分离器出口水与103号池水的测定值,而分离器出水口COD_{Mn}值又低于103号池。在上述的三种处理时间段,103号池、泡沫液、分离器出口水分别测得的COD_{Mn}平均值依次为6.98 mg·L⁻¹、414.47 mg·L⁻¹、6.62 mg·L⁻¹,泡沫液COD_{Mn}值分别为103号池水与分离器出口水的59.4倍和62.6倍。可见,分离器去除养殖水中有机物的效果甚为显著。有关资料曾指出^[25],泡沫分离法能将溶解性有机物通过气泡吸附形成泡沫被去除。表3、表4也表明,分离器具有较好去除NH₃-N_t与NO₂⁻-N的作用。在上述3种时间,测得泡沫液NH₃-N_t与NO₂⁻-N平均值分别为103号池的3.0倍和1.9倍。103号池水经分离器6 h循环处理,共收集泡沫形成液体78 L,按去除物平均值计算,6 h中经分离器分离去除COD_{Mn} 30.78 g、NH₃-N_t 46.78 mg、NO₂⁻-N 14.39 mg。试验表明,自行研制的泡沫分离器可

有效降低NH₃-N_t、NO₂⁻-N与COD_{Mn}。

2.3 系统循环处理养殖试验池水效果

表5与表6为养殖试验第25天(早期)、第100天(晚期)时,106号、108号和110号池及103号消毒池水以系统循环处理前后水质测定结果。表5和表6表明,经12 h约循环处理一遍后,养殖池水质得到良好的净化效果。养殖池水pH有所提高,即部分酸性物质得以去除。但试验发现,当养殖至中期(40~80 d)、晚期(80 d后)时,养殖池水pH下降幅度增加。故到60 d左右时,尚需据pH检测值,适时向103号池泼入适量生石灰水,以通过系统循环简便而有效调控养殖池水pH;表5和表6表明,池水循环处理后,COD_{Mn}与NO₂⁻-N值变化不明显,此与残饵、虾代谢产物等日渐积累,启动循环系统时,池底积累沉积物混入养殖水参加循环有关;但所获泡沫液中COD_{Mn}含量分别高达343.53 mg·L⁻¹与109.90 mg·L⁻¹,两者获泡沫液分别为37 L与75 L,可见,系统循环处理12 h,分离器可分别从系统中除去COD_{Mn} 12.71 g、8.24 g,显示了系统循环处理去除COD_{Mn}

表 5 第 25 天时养殖试验池循环处理后的水质变化

Tab. 5 The change of water quality by circ-treating to culture test ponds in the 25th day

池号 pond	pH		COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)		NH ₃ -N _i (mg·L ⁻¹)		NO ₂ ⁻ -N(mg·L ⁻¹)	
	0 h	12 h	0 h	12 h	0 h	12 h	0 h	12 h
103	8.25	8.30	4.39	6.36	0.164	0.066	0.008	0.034
106	8.17	8.31	5.41	5.85	0.173	0.066	0.033	0.031
108	8.17	8.31	6.11	6.11	0.227	0.084	0.022	0.028
110	8.16	8.30	7.95	6.43	0.134	0.096	0.033	0.030
泡沫液* foam liquid		8.15		343.53		2.316		0.124

注: * 表示循环期间共收集泡沫液 37 L

Notes: * meas collecting foam liquid 37 L during circle

表 6 第 100 天时养殖试验池循环处理后的水质变化

Tab. 6 The change of water quality by circ-treating to culture test ponds in the 100th day

池号 pond	pH		COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)		NH ₃ -N _i (mg·L ⁻¹)		NO ₂ ⁻ -N(mg·L ⁻¹)	
	0 h	12 h	0 h	12 h	0 h	12 h	0 h	12 h
103*	8.32	8.14	9.24	14.29	0.874	0.240	0.154	0.234
106	7.83	7.98	14.98	15.02	0.534	0.181	0.162	0.190
108	7.95	8.00	15.32	15.26	0.925	0.195	0.222	0.226
110	7.98	8.01	16.29	15.13	0.681	0.199	0.114	0.171
泡沫液* foam liquid		8.00		109.90		0.467		0.499

注: * 表示循环期间共收集泡沫液 75 L

Notes: * collecting foam liquid 75 L during circle

效果明显。试验中发现,部分残饵与虾代谢产物等随循环水流入 103 号池而沉于池底,通过对后者“清淤”,可有效改善养殖水质;循环处理所获泡沫液中 NH₃-N_i、NO₂⁻-N 含量也明显高于养殖池,如第 25 天与 100 天处理所获泡沫液中 NH₃-N_i与 NO₂⁻-N 含量分别为养殖池相应平均值的 28.2 倍与 2.4 倍,4.2 倍和 2.6 倍,显然两者浓度在养殖池水中有所下降或控制在低值,如 106 号

池在第 25 天、100 天循环处理后,NH₃-N_i分别下降 61.8%与 66.1%。可见,利用水处理系统对养殖池水进行循环处理 12 h,可有效调控水质,这是养殖试验获得成功的关键与基本保证。

2.4 系统处理养殖试验池水合适时间间隔

表 7 为 108 号养殖池水在早期(25 d)、中期(65 d)、晚期(100 d)经循环处理 12 h 后 8 d 内的逐日测定结果。表 7 表明,池水在循环处理后,随

表 7 108 号池水在不同养殖期循环处理后水化学指标变化状况*

Tab. 7 The change of water quality by circ-treating to pond 108 for different culture stage

时间 (d) time	pH			COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)			NH ₃ -N _i (mg·L ⁻¹)			NO ₂ ⁻ -N(mg·L ⁻¹)		
	早期 early stage	中期 middle stage	晚期 later stage	早期 early stage	中期 middle stage	晚期 later stage	早期 early stage	中期 middle stage	晚期 later stage	早期 early stage	中期 middle stage	晚期 later stage
0	8.23	8.06	8.00	5.66	8.00	15.26	0.123	0.187	0.195	0.038	0.052	0.226
1	8.21	8.10	7.92	7.12	8.56	13.71	0.084	0.212	0.221	0.024	0.060	0.293
2	8.14	8.19	7.89	6.45	8.81	15.28	0.191	0.281	0.282	0.015	0.061	0.256
3	8.16	8.09	7.86	6.26	8.31	16.55	0.140	0.304	0.265	0.029	0.066	0.317
4	8.03	8.15*	7.80	7.38	9.18	17.00	0.125	0.203	0.260	0.033	0.067	0.357
5	8.08	8.02		7.13	9.24		0.117	0.251		0.049	0.062	
6	8.17**	7.81		6.76	9.18		0.198	0.180		0.065	0.062	
7	8.14			7.44			0.187			0.051		
8	8.19			7.94			0.229			0.056		

注: *, 早期:第 25 天;中期:第 65 天;晚期:第 100 天

** *: 为添加生石灰后测定

Notes: *, early stage: the 25th day; middle stage: the 65th day; later stage: the 100th day

** *: determining value after added calcium lime

养殖天数增加,pH逐下降,COD_{Mn}、NH₃-N_t、NO₂⁻-N浓度呈上升趋势。其中,早期循环处理后5d,pH由8.23降至8.08,至第6天泼洒生石灰后,pH即升至8.17;COD_{Mn}、NH₃-N_t与NO₂⁻-N自第4天起也均发生不同程度上升。因此,为维持池水良好状况与低成本运转,早期1~40d,系统处理池水合适间隔时间选为6d,即第7天再次启动系统循环处理池水。表7表明,池中后期各指标变

化状况基本与早期相似,但pH、COD_{Mn}等在循环处理后第3天便发生较明显变化,故在试验中、后期(40d后)处理池水间隔时间均选择3d,即第4天再次启动系统循环处理池水。

2.5 养殖周期内试验池水质变化状况

在养殖全周期内,按上述以系统循环处理6口试验池水质,其中108号池每10d水质测定结果列于表8。表8表明,养殖周期内,浑浊度随养

表8 循环期间108号池水质变化状况

Tab. 8 The change of water quality in pond 108 during culture period

养殖天数(d) culture days	温度 (°C) temperature	浊度 (NTU) turbidity	pH	ORP (mV)	NH ₃ -N _t (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N _m (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)
0	23.7	1.0	8.51	355	0.240	0.026	0.074	0.680	6.94
10	25.2	0.9	8.42	384	0.352	0.035	0.420	0.800	6.02
20	26.7	0.8	8.32	404	0.387	0.034	0.546	1.259	5.74
30	28.2	1.7	8.30	439	0.045	0.004	0.052	2.180	5.51
40	29.2	1.2	8.33	418	0.194	0.021	0.021	5.351	5.97
50	29.9	2.8	8.03	411	0.125	0.008	0.033	6.618	7.38
61	29.8	4.6	7.81	433	0.180	0.007	0.062	9.363	9.18
71	28.7	4.4	7.77	404	0.360	0.011	0.295	20.341	11.68
81	29.3	34.3	7.88	401	0.357	0.015	0.240	19.790	10.33
92	25.8	19.8	7.98	409	0.161	0.007	0.182	27.268	14.09
99	24.6	38.7	7.86	391	0.265	0.008	0.317	36.153	16.55
108	23.9	44.6	7.70	368	0.558	0.011	0.188	47.285	20.04
120	21.2	25.9	8.09	364	0.246	0.010	0.109	40.885	15.32
平均值 average	26.6± 2.8	13.9± 16.5	8.08± 0.27	399± 26	0.267± 0.135	0.015± 0.011	0.203± 0.168	16.767± 16.523	10.34± 4.81

殖天数增加而增大,在前71d内,变化较平缓(0.8~4.6 NTU),但至80d左右时,发生突增,81d时浑浊度较71d陡增6.8倍。此时对虾生长进入体重迅速增长阶段。有资料指出^[26],对虾养殖75d前后的时间里,生长迅速。试验中发现,这段时间对虾摄食甚盛,故投饵量加大。显然,水中虾代谢产物与残饵也相应随之增加,导致浊度突增。泼洒生石灰液可有效降低浑浊度。如92d和100d泼洒生石灰后浑浊度均下降42%。养殖周期内,pH呈现递减特点,但因系统功能及泼洒生石灰水作用,使pH控制为7.70~8.51,为对虾合适生长范围^[15]。ORP变化范围为355~439mV,平均值399mV,处于氧化性水环境的正常范围^[27]。此与臧维玲等^[11]报道的室内封闭式凡纳滨对虾幼虾养殖池水ORP状况基本类同。养殖周期内,NH₃-N_t与NO₂⁻-N变化范围分别为0.045~0.558(NH₃-N_m0.004~0.035)mg·L⁻¹与0.021~0.546mg·L⁻¹,平均值分别为0.267

(NH₃-N_m0.015)mg·L⁻¹与0.203mg·L⁻¹。Davis等^[8]报道,采用温室中途移池循环水养虾161d,在主要生产阶段的水质指标pH、NH₃-N_t和NO₂⁻-N分别为7.4、0.37mg·L⁻¹和0.60mg·L⁻¹。彭自然等^[28]报道,幼虾(体长9.92mm)NH₃-N_t与NO₂⁻-N的安全浓度分别为0.787(NH₃-N_m0.131)mg·L⁻¹与1.91mg·L⁻¹。可见试验池此两指标均处于对虾生长安全范围内。养殖期间,NO₃⁻-N随养殖天数增加较快,变化范围为0.680~47.285mg·L⁻¹,平均值为16.767mg·L⁻¹。臧维玲等^[29]提出,体长为7.94cm的幼虾,当30mg·L⁻¹<NO₃⁻-N<60mg·L⁻¹时,将影响幼虾生长,若NO₃⁻-N>60mg·L⁻¹时,将影响虾的成活率。试验池92d后,27mg·L⁻¹<NO₃⁻-N<48mg·L⁻¹,可见晚期试验池NO₃⁻-N浓度偏高,可能影响对虾生长。为进一步降低池水NO₃⁻-N浓度,可仅启动循环过滤与泡沫分离系统,适当增加循环水过滤与泡沫分离次数。在养殖期内,

COD_{Mn}变化范围为5.51~20.04 mg·L⁻¹,均值10.34 mg·L⁻¹。自61 d后,COD_{Mn}>10 mg·L⁻¹,至108 d时,COD_{Mn}出现最高值,此时也正是浊度、NH₃-N_t、NO₃⁻-N等达最高值、pH达最低值之时。可见,在61 d后,应进一步加强池水调控和管理,如仅开启粗滤器与泡沫分离器循环处理水管道,增加循环处理次数等,将有效降低COD_{Mn}。

试验池所挂放净水网形成的生物膜有助于降低水中三态氮与COD_{Mn}含量,对系统调控养殖池水质起了增强作用。

由上述可知,虽然全养殖周期内,未曾换水与用药,但系统有效调控了养虾池水质指标在合适范围之内。

2.6 试验池养殖效果

表9为试验池102号和108号养殖凡纳滨对

虾的结果。养殖期间,饲养虾摄食旺盛,生长良好,从未患病。表9表明,经114 d与128 d养殖,两池虾平均体重分别为13.44 g与13.56 g、单位水体产量为4.45 kg·m⁻³与4.27 kg·m⁻³,成活率分别为52.7%与59.6%。苗建春等^[30]以温室循环水铺底膜池养殖凡纳滨对虾150 d,单位水体最高产量为0.755 kg·m⁻³。Davis等^[8]报道,采用中途移池循环水养虾161 d,单位水体产量分别为2.9 kg·m⁻³和9.0 kg·m⁻³,成活率89.8%和56.4%。可见,试验中虽未曾换水与用药,但所采用的循环水调控技术与模式,可使养殖周期内池水主要指标均符合对虾生长要求,池水处于良好的生态平衡状况,因而也获得较好养殖结果。可见,若试验所用循环水处理系统设备、工艺与技术经进一步完善和提高,可推广应用于虾类室内规模化生产。

表9 试验池凡纳滨对虾养殖效果

Tab.9 The effect of *Penaeus vannamei* culture in test pond

池号 pond no.	养殖天数(d) culture time	平均体长(cm) average body length	平均体重(g) average body weight	单位水体产量(kg·m ⁻³) specific yield	成活率(%) survival rate	饵料系数 bait coefficient
102	114	10.28±0.72	13.44±2.42	4.45	52.7	0.98
108	128	10.58±1.35	13.56±2.28	4.27	59.6	1.01

2.7 室内虾类养殖循环水调控模式

据试验结果与凡纳滨对虾特点,提出以下室内虾类养殖循环水调控模式:

(1) 养殖初始,采用低水位(水深约50 cm)育苗,约30 d内,逐步添水至满池,以提高饵料密度,利于幼虾摄食。

(2) 水处理系统主要由臭氧发生器、无油润滑空气压缩机、涡流式气液混合器、罗茨鼓风机、泡沫分离器和粗滤器等组成。

(3) 据水质监测结果确定臭氧处理消毒池水时间、早期(前40 d)及中晚期循环处理养殖池水的间隔时间以及将养殖池水通过水处理系统处理的合适时间;约40 d后,据测定结果,逐增加粗过滤和泡沫分离次数,并以生石灰调控pH。

(4) 室内虾类养殖循环水处理工艺流程

据试验情况与所采用养殖循环水处理工艺实施情况,提出以图2表示的虾类室内养殖循环水处理简要工艺流程:

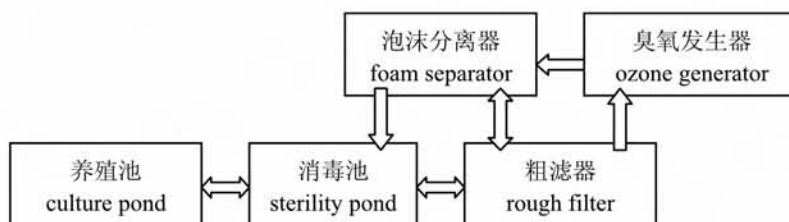


图2 室内虾类养殖循环水处理简要工艺流程

Fig.2 Brief flowchart of circulating water in culture pond of shrimp in indoor

参考文献:

- [1] 温志良,温琰茂.海水养殖对环境的影响[J].南海研究与开发,2000,(1):37-40.
- [2] 温志良,张爱军,温琰茂.集约化淡水养殖对环境的影响[J].水利渔业,2000,20(4):19-20.
- [3] 计新丽,林小桃,许忠能,等.海水养殖自身污染机制及其对环境的影响[J].海洋环境科学,2000,19(4):66-71.
- [4] 董双林,潘克厚.海水养殖对沿岸生态环境影响的研究进展[J].青岛海洋大学学报,2000,30(4):575-582.
- [5] 韩家波,木云雷,王丽梅.海水养殖与近海水域污染研究进展[J].水产科学,1999,18(4):40-43.
- [6] 贾晓平,蔡文贵,林钦.我国沿海水域的主要污染问题及其对海水增殖的影响[J].中国水产科学,1997,4(4):78-82.
- [7] 中国水产科学研究院情报研究所.国外渔业概况[M].北京:科学出版社,1991:100-101.
- [8] 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, (1):193-211.
- [9] 丁永良.工业化养鱼的进展[J].水产科技情报,2001,28(1):20-22.
- [10] 雷霖霖.我国海水工厂化养鱼概述[J].现代渔业信息,1998,13(7):4-10.
- [11] 臧维玲,王永涛,戴习林,等.河口区室内幼虾养殖循环水处理技术与模式[J].水产学报,2003,27(2):151-157.
- [12] 臧维玲.养鱼水质分析[M].北京:中国农业出版社,1991:44-96.
- [13] 国家质量技术监督局.海水分析[A].海洋监测规范[S].北京:中国标准出版社,1998:142-143,150-162.
- [14] Alabaster J S, Lloyd R. Water quality criteria for freshwater fish (2nd edit)[M]. London: University Press of Cambridge,1982:85-87.
- [15] 王兴强,马牲,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.
- [16] Menasveta P. Effect of ozone treatment on the survival of shrimp larvae reared in closed recirculating water system[J]. Thai Fish Gaz,1980,33(6):677-683.
- [17] Honn K V, Chavin W. Utility of ozone treatment in maintenance of water quality in a closed marine system[J]. Mar Biol,1976(34):201-209.
- [18] 孙广明,李宝华,杨建军,等.臭氧水处理及在水产养殖中的应用[J].内陆水产,1998,(4):5-6.
- [19] 孙晓红,韩华,任重.臭氧处理海珍品育苗用水效果的初步研究[J].大连水产学院学报,1997,12(2):73-77.
- [20] 臧维玲,江敏,戴习林,等.臭氧对罗氏沼虾育苗池水净化作用的研究[J].水产科技情报,2000,27(5):195-199.
- [21] 王博君,孙广明,李宝华,等.臭氧在河蟹规模化育苗生产上的应用[J].内陆水产,2000,(2):12-14.
- [22] 孙广明,李宝华,李汉忠.臭氧特性及对水质的净化作用[J].渔业现代化,2000,(4):23-26,31.
- [23] 郭平,许美美.对虾养殖池水域环境细菌的动态变化[J].海洋与湖沼,1994,25(6):625-629.
- [24] Rubin E, Elmer L, Gaden J. Foam separation, in new chemical engineering separation techniques [M]. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1962:319-385.
- [25] Week N C, Timmons M B, Chens S. Feasibility of using foam fractionation for the removal of dissolved and suspended solids from fish culture water[J]. Aquaculture Engineering,1992,11(4):251-265.
- [26] 王良程,刘修业.对虾养殖[M].天津:南开大学出版社,1991:28-31.
- [27] Stumm W, Morgan J J. Aquatic chemistry (2nd edit) [M]. New York: Wiley-Interscience, 1981:418-495.
- [28] 彭自然,臧维玲,高杨.氨、亚硝酸盐对凡纳滨对虾幼虾毒性作用[J].上海水产大学学报,2004,13(3):274-278.
- [29] 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(3):42-46.
- [30] 苗建春,苗建青,苗建发.封闭循环式底膜池养殖南美白对虾高产技术的研究[J].齐鲁渔业,2004,21(4):3-4.

The technique and mode of regulating-controlling circulation water for indoor industrial culture of *Penaeus vannamei*

ZANG Wei-ling¹, DAI Xi-lin¹, XU Jia-bo¹, YUAN Zhi-guo¹,
PENG Zi-Yan¹, YANG Ming¹, XU Gui-rong², DING Fu-jing²

(1. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China;

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

Abstract: The techniques on the regulation-controlling the recirculation water of indoor industrial culturing of *Penaeus vannamei* were studied making use of the system of circulating water treatment. This system mainly consisted of ozonator, air-liquid mixer, air compressor, foam separator and rough filter etc. The initial water before culturing and the recirculating water from shrimp culture pond before every recirculation treating during the culture experiment were treated for 4 h, then aired for 2 h in the sterilizing pond with only ozone. About 99.3% bacterial total was sterilizing and vibrio total was smaller than 1 cell·mL⁻¹ by such treating initial water. The culture pond water during the culture was recircularly treated for about 12 h at 4 – 6 d intervals with the system of the circulating water treatment in order to remove NH₃-N_t, NO₂⁻-N, organism, suspended matter and bacterial etc. The frequency of using foam separating and rough filter to treating recirculation water was increased and pH was regulated with caustic lime water according to the quality of recirculating water after culturing for about 60 d. The quality of recirculating water was effectively controlled by the system of recirculating water treatment. The quality criteria of the recirculation water for use as the shrimp culture was controlled within suitable range without using any medicine and water exchanging during culture period for 128 d. The average values of main parameter were as follows: turbidity 13.9 NTU, pH 8.08, oxidation-reduction 399 mV, NH₃-N_t (NH₃-N_m) 0.267 mg·L⁻¹ (0.013 mg·L⁻¹), NO₂⁻-N 0.203 mg·L⁻¹, COD_{Mn} 10.34 mg·L⁻¹. The average body weight of harvest shrimp 13.56 g, survival rate 59.6%, yield in per cubic meter water 4.27 kg·m⁻³, bait coefficient 1.01. The mode on regulating-controlling recirculation water for indoor industrial culture of prawn is proposed according to the experiment result and culturing character of *Penaeus vannamei*.

Key words: *Penaeus vannamei*; ozone; foam separator; rough filter; water treatment; criteria of water quality; industrial culture