

文章编号: 1674 - 5566(2016)02 - 0189 - 09

凡纳滨对虾温棚高位池养殖密度及简易水质调控措施效果研究

刘 军, 戴习林, 臧维玲

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 当前凡纳滨对虾为我国对虾海淡水养殖的重要品种, 温棚高位池是其在浙江宁波地区重要的养殖方式, 研究养殖密度与水质调控技术是推广该养殖方式的当务之急。通过第一茬 70 d 生产性养殖实验, 探讨了早春温棚高位池养殖密度对水质、对虾生长与养殖效果的影响。结果表明: 早春温棚高位池高密度(315、375 ind/m²) 养殖效果良好, 单位水体产量分别为 1.54 kg/m² 与 1.32 kg/m²。两种密度水平下, 虾生长与养殖效果无显著差异($P > 0.05$), 主要水质指标也无显著性差异($P > 0.05$), NH₃-Nm(0.058 ~ 0.081 mg/L) 与 NO₂⁻-N(0.001 ~ 4.290 mg/L) 等控制在对虾安全生长范围内。控制换水量与投饵量、启用增氧机等简易措施均可使主要水质指标不同程度改善, 换水量 20% 使 TAN 与 COD_{Mn} 显著降低 34.7% 与 29.9% ($P < 0.05$), 增氧机启动 2 h 可使溶解氧增加 11.8% ~ 29.4%。300 ind/m² 养殖密度在温棚高位池养殖中是可行的, 通过简易水质调控措施能够较好地调控水质, 这为其推广提供了可能。

关键词: 温棚; 高位池; 凡纳滨对虾; 养殖密度; 水质指标; 调控措施

中图分类号: S 966.1 **文献标志码:** A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 具抗病能力强、盐度耐受范围广、产量高等优点, 是我国一些地区主要养殖虾类之一。高位池集约化养殖多见于广东省、福建省^[1-3]。但江浙等地因 4 月份气温较低, 昼夜温差较大, 无法正常养殖凡纳滨对虾等热带虾类, 因此全年养殖时间不足以开展两茬养殖。浙江省宁波地区 4 月最高与最低平均气温约 21.2 °C 与 12.7 °C。为争取更多养殖时间, 该地区采用温棚高位池养殖凡纳滨对虾模式, 其综合了大棚和高位池高产、可控性强等特点。养殖密度是影响产量与水质的的重要因素。有关资料^[4-6] 分别报道了高位池养殖凡纳滨对虾密度与水质、产量等的关系, 低密度时, 单位产量与饵料系数、三态氮与 COD_{Mn} 浓度均随密度增加。随着养殖技术的成熟, 适当提高凡纳滨对虾养殖密度显得尤为重要^[7-9]。

近年来以微生态制剂等措施改善水质已引起养殖业关注^[8,10-12]。常用微生态制剂中所含枯草芽孢杆菌能显著降低池水 NO₂⁻-N, 去除

TAN 效果不明显^[12-13]。因此常将生物、化学与物理等方法联用调控水质, 但成本较高, 难以推广。目前温棚高位池养殖凡纳滨对虾已在粤闽浙等地区开展, 但至今有关凡纳滨对虾温棚高位池水质简易调控措施的研究报道较为罕见, 养殖密度基本低于 300 ind/m², 更高密度是否可行尚缺乏实践研究。鉴于上述情况, 实验于 2014 年 4 月初(约提前一个月) 在宁波地区探讨了温棚高位池(放养密度 315、375 ind/m²) 养殖周期内(70 d) 水质演变规律、对虾生长情况和养殖效果及多种简易水质调控措施(如改进投饵、增氧机启用及换水等技术) 改进水质的作用, 以期通过养殖实践获得早春温棚高位池养殖凡纳滨对虾合适高密度以及有效的简易水质调控措施, 为温棚高位池集约化对虾养殖提供可靠实践依据。

1 材料与方法

1.1 养殖实验池、用水与实验虾

实验于 2014 年 4 月 4 日 - 2014 年 10 月 1 日

收稿日期: 2015-05-04 修回日期: 2015-08-02

基金项目: 上海市科委地方院校能力建设专项(13320501900)

作者简介: 刘 军(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为凡纳滨对虾生态养殖技术。E-mail: 811051728@qq.com

通信作者: 戴习林, E-mail: xldai@shou.edu.cn

(第一茬共养殖 70 d, 4 月 4 日~6 月 15 日; 第二茬共养殖 45 d, 8 月 17 日~10 月 1 日), 在宁波生态养殖园选用 1~14 号温棚高位池(32.5 m × 32.5 m × 2.5 m, 水深 2.2~2.3 m) 进行实验。高位池为锅底状正方形, 四角弧形, 水泥壁, 铺底膜, 池中央铺设 PV 管(直径 250 mm) 用以排污。各池配有 2 台 1.5 kW 水车式增氧机及公用 1 台罗茨鼓风机(40 kW) 提供池底增氧。养殖水源取自当地海水河道(盐度 15~22), 用 PV 管(直径 160 mm) 引海水入蓄水池消毒沉淀后以 60 目筛绢滤入高位池。实验用虾苗购于正大饲料有限公司, 平均体长(0.70 ± 0.10) cm, 体质量为 0.62~0.63 mg。1、2 号实验池布苗密度 375 ind/m², 其余均为 315 ind/m²。

1.2 养殖实验期间不同密度高位池水质指标变化状况

在两茬养殖 14 口池中, 仅 1、2 号池密度 375 ind/m², 其余池 315 ind/m²。为检测养殖周期内凡纳滨对虾不同密度虾池水质演变与对虾生长状况, 第一茬选用 1~4 号池为实验池, 每 7 天定时、定点(池边中点离岸约 2 m 处) 采取表层(在水面下约 5~10 cm) 与底层水样(离池底 5~10 cm 处) 混匀后测定 pH、溶解氧(DO)、总氨氮(TAN)、亚硝基氮(NO₂⁻-N)、硝基氮(NO₃⁻-N)、活性磷(PO₄³⁻-P) 和化学需氧量(COD_{Mn}), 同一取样点各指标均测双样, 取平均值。同时在养殖开始和结束时各池用地笼随机取 30 尾虾样测量体长和体质量。

非离子氨氮浓度(C_{NH_3-N}) 由总氨氮(C_{TAN}) 浓度通过下式计算求得^[14]:

$$C_{NH_3-N} = C_{TAN} \times f_{NH_3-N} \quad (1)$$

$$f_{NH_3-N} = 1 / [1 + 10^{(pK'_a - pH + p\gamma_{H^+})}] \quad (2)$$

1.3 简易水质调控措施改进虾池水质

1.3.1 换水对虾池水质的影响

第一茬(60 d)、第二茬(45 d) 均选取 5、6 号池进行实验, 换水量分别为 20.0% 与 18.8%, 水源水质符合渔业用水标准, 且都低于养殖水体。换水前及换水后 3 h(增氧机搅拌混匀) 定点采取虾池水样测定上述水质指标。

1.3.2 启用增氧机对虾池水质的影响

第一茬(60 d) 与第二茬(45 d) 均选取 7~10 号池为实验池, 分别于开机前及开机 2 h 停机时定点采取虾池水样测定上述水质指标。

1.3.3 饲料投喂量对虾池水质的影响

第一茬养殖 60 d 时, 选取 11~14 号池进行实验, 11、12 号池日投饵量 39 kg/d, 13、14 号池日投饵量 30 kg/d。于投饵前及投饵后 2 h, 定点采取虾池水样测定上述水质指标。投喂时, 边投喂边观察对虾摄食状况, 据实际情况随时调整设定投喂量。

1.4 养殖池日常管理

高位池水车式增氧机养殖 30 d 后开启使用, 开机时间基本为下午和夜间, 具体视水质与虾的状况而定。养殖周期内底部增氧设备始终运行。养殖 30 d 后, 增氧机停机后开始排污, 各池每日清底排污 3 次, 并补充适当水量。中期(约 26~55 d)、后期(约 56~70 d) 日换水率分别约 5%~15%、15%~20%。定期使用微生态制剂调控虾池水质。配合饲料为正大饲料公司生产, 每天投饲 3 次, 据天气和虾生长情况适当调节投饲次数与数量。

1.5 水质指标测定方法

水质指标测定方法参照文献^[15-16]。pH: pHB-4 型酸度计; DO: WTW 多参数水质测定仪(德国产); TAN: 奈氏比色法; NO₂⁻-N: N-1-萘基-乙二胺光度法; NO₃⁻-N: 锌镉还原-重氮偶氮比色法; PO₄³⁻-P: 钼蓝比色法; COD_{Mn}: 碱性高锰酸钾法。

1.6 数据统计与分析方法

实验数据采用 SPSS 15.0 和 Excel 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 养殖周期内温棚高密度高位池水质演变状况

2.1.1 不同密度虾池水温、pH 和 DO 变化范围

表 1 为养殖第一茬全周期内(共养殖 70 d) 1~4 号池 pH 与 DO 平均值。表 1 表明, 1~4 号池水温为 28.54~28.83 °C, 可见温棚保温性能好, 早春(4 月初) 在宁波地区温棚可较好地维持池水温在合适生长范围^[17], 确保了该地区开展两茬养殖所需时间。70 d 中 4 口池检测的相应水质指标较为相近: 1、2 号池 pH 变化范围为 7.22~9.34, DO 为 4.0~7.1 mg/L, 3、4 号池 pH 为 7.28~9.39, DO 为 3.9~7.2 mg/L, 养殖周期 4 口池水温(28.54~28.83 °C)、pH(7.73~7.84)、DO

(5.0~5.2 mg/L)平均值均处于凡纳滨对虾合适生长范围^[17]。经检验,1~4号池 pH、DO 均无显著差异($P>0.05$)。可见在实验管理条件下,两组虾池虽密度不同,但未引起两者 pH、DO 显著差异。

表 1 第一茬养殖周期内(共养殖 70 d)
温棚高位池水温、pH、DO 平均值
Tab. 1 The average of T, DO and pH in culture
ponds during the first culture period (70 d)

池号 pond No.	水温/℃ temperature	pH	DO/(mg/L)
1	28.67 ± 2.08	7.73 ± 0.52 ^a	5.1 ± 0.8 ^a
2	28.57 ± 2.16	7.73 ± 0.46 ^a	5.0 ± 0.8 ^a
3	28.54 ± 2.40	7.80 ± 0.47 ^a	5.2 ± 0.9 ^a
4	28.83 ± 1.99	7.84 ± 0.57 ^a	5.1 ± 0.9 ^a

注:同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: The means with different letters within the same column are significant differences at the 0.05 probability level.

2.1.2 营养盐与化学需氧量呈波浪式增减变化

图 1 为养殖周期内 1~4 号实验池三态氮(TAN、 NO_2^- -N、 NO_3^- -N)、 PO_4^{3-} -P 与 COD_{Mn} 浓度随养殖时间变化状况。图 1a 显示,养殖周期内,1~4 号池较多时间 TAN 较接近,基本呈波浪式递减变化特点:在养殖 28 d 以前维持在较低水平;28 d 时,因排污与换水,加水量较少,残饵与排泄物日渐增多,而池水温度正适合有机物氨化等作用,从而引起 TAN 含量陡增^[18];在养殖后期严格控制投食量、降低投喂频率及严格排污等使 TAN 浓度急剧下降,甚至低于起始值,最终仅 0.198~0.427 mg/L。在养殖周期内 1、2 号池与 3、4 号池 TAN 浓度均无显著差异($P>0.05$),且 NH_3 -Nm(0.058~0.081 mg/L)均处于对虾生长安全范围^[19-20]。

图 1b 和图 1c 显示, NO_2^- -N、 NO_3^- -N 均呈现早期平稳、中后期陡增变化特点:42 d 前,1~4 号池 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 均较为接近,且变化幅度较小;42~49 d 起至结束 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 浓度均基本呈陡增变化;70 d 时,1~4 号池 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 达峰值分别在 3.394~4.731 mg/L,8.139~12.605 mg/L, NO_2^- -N 浓度均处于对虾生长安全范围^[21]。1、2 号池与 3、4 号池 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 并未因养殖密度不同而出现显著性

差异($P>0.05$)。

图 1d 显示, PO_4^{3-} -P 呈波浪式递增特点:28 d 前,1~4 号池 PO_4^{3-} -P 变化幅度较小;至 28 d 时, PO_4^{3-} -P 类似 TAN 发生陡增,分别达 0.029、0.025、0.014、0.071 mg/L;在养殖 70 d 时,达最大值,分别为 0.597、0.643、0.484、0.707 mg/L。

图 1e 显示,化学需氧量较大幅度波浪式增减变化,养殖周期中(63、70 d 除外),1、2 号池与 3、4 号池浓度无显著差异($P>0.05$)。 COD_{Mn} 曲线变化不同于三态氮,显示 3 个不同特点的变化阶段:起始至 35 d,1、2 号与 3、4 号池分别以不同幅度波浪式递增,前两池递增幅度更大;之后至 49 d,4 号池曲线均处于几乎平行于横坐标的平稳变化;49 日后至养殖结束,1、2 号池基本呈快速下降变化,降至 4.5 mg/L 与 2.6 mg/L,仅为初始值的 34.7% 与 21.1%,而 3、4 号池呈增加趋势,此与养殖场后期严格控制、甚至削减投饵量及换水量有关。

由上可知:虽 1、2 号池密度高于 3、4 号池,但养殖周期内两者主要水化指标均无显著差异($P>0.05$), NH_3 -Nm 与 NO_2^- -N 浓度均在虾安全生长范围,说明温棚高位池以 315~375 ind/m² 放养密度开展养殖生产是可行的。

2.2 温棚高密度高位池养虾效果

宁波地区 4 月初利用温棚高位池养殖凡纳滨对虾,布苗密度 375、315 ind/m²,经 70 d 养殖结果见表 2。4 口池平均体长、体质量及其周增长(重)量较为相近,虽 1、2 号池虾体质量仅超过 3、4 号池 3.3%,成活率为后者 83.0%,但 1、2 号池单位水体产量较 3、4 号池增加 16.7%,可见高密度利于提高产量。两种密度养虾池各种生长指标(体长、体质量及成活率等)均无显著性差异($P>0.05$)。资料^[5]报道,以密度 120 ind/m² 开展高位池凡纳滨对虾养殖 82 d,收获虾体长 8.22 cm,体质量 6.08 g,单位水体产量 0.63 kg/m²,各指标均低于本实验中两种密度实验池 70 d 养殖结果(表 6)。可见实验虽采用高放养密度(315~375 ind/m²),但因水质调控措施与生产管理得当,确保了高位池凡纳滨对虾养殖取得良好效果。

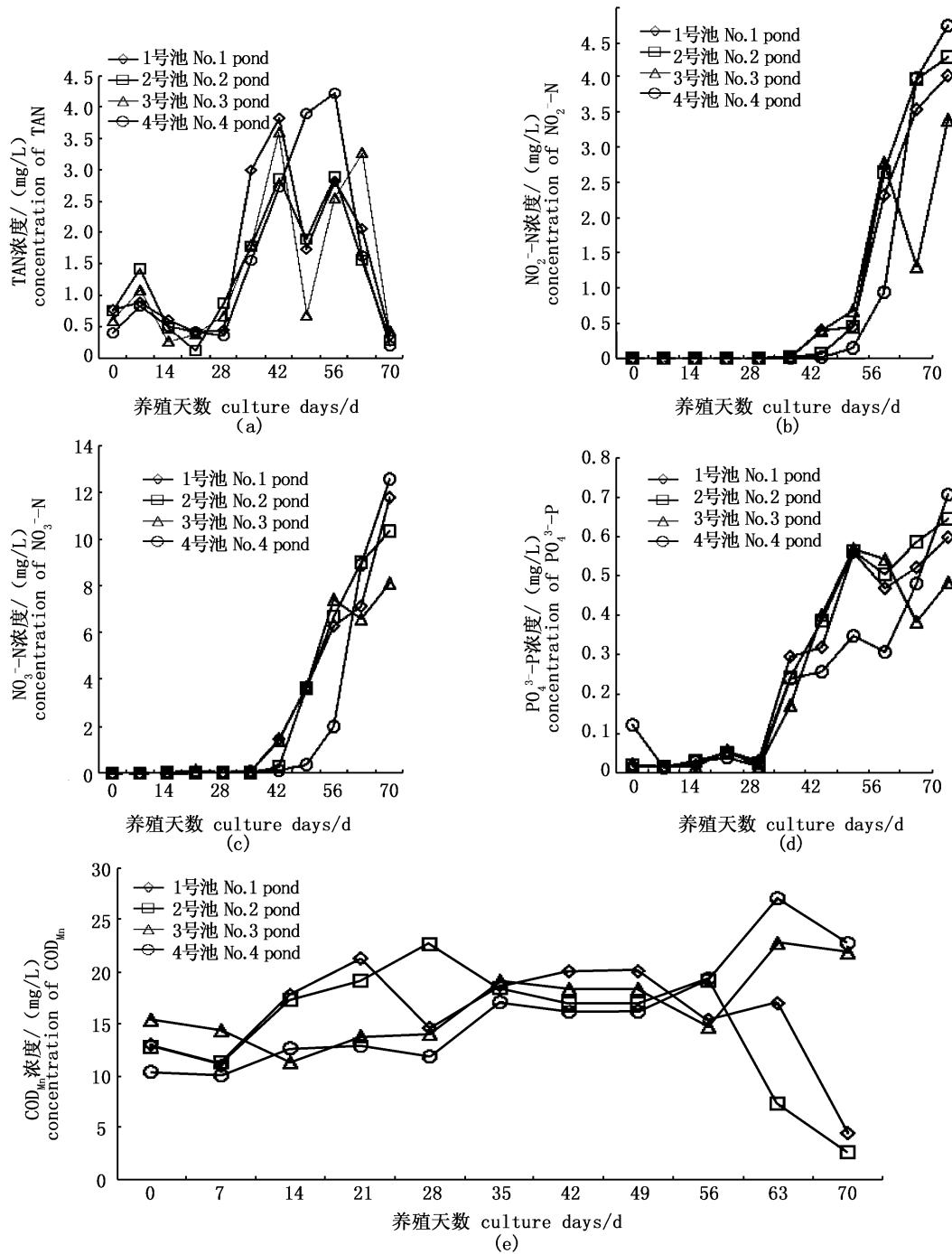


图 1 凡纳滨对虾温棚高位池水质的变化

Fig. 1 Changes in the water chemical parameters in Greenhouse-High-Intensive ponds to breed *Litopenaeus vannamei*

表 2 第一茬 (养殖共 70 d) 温棚高密度高位池凡纳滨对虾养殖结果

Tab. 2 The effect of *L. vannamei* culture in greenhouse-high-intensive ponds during the first crop (70 d)

密度组 group	平均体长/cm average body length	平均体质量/g average body weight	周增长量/ (cm/w) weekly length gain	周增重量/ (g/w) weekly weight gain	单位水体产量 specific yield		饵料系数 food conversion ration	成活率/% survival rate
					kg/m ²	kg/m ³		
375 ind/m ²	9.93 ± 0.69 ^a	11.91 ± 2.14 ^a	0.96 ± 0.06 ^a	1.19 ± 0.04 ^a	1.54 ± 0.31 ^a	0.70 ± 0.14 ^a	1.33 ± 0.05 ^a	32.3 ± 6.6 ^a
315 ind/m ²	9.93 ± 0.79 ^a	11.53 ± 2.32 ^a	0.94 ± 0.01 ^a	1.12 ± 0.01 ^a	1.32 ± 0.08 ^a	0.60 ± 0.04 ^a	1.08 ± 0.11 ^a	38.9 ± 2.3 ^a

注: 同一列相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: The means with same letters within the same column are not significant differences at the 0.05 probability level.

2.3 温棚高密度高位池不同水质调控措施的效果

2.3.1 换水量对养虾池水质的改进作用

表3为第一茬养殖60 d时与第二茬养殖45 d时,5、6号实验池换水前后主要水质指标测定结果。表3表明,在第一茬养殖60 d时,两实验池换水20.0%后,三态氮与 COD_{Mn} 均有不同程度降低,其中TAN与 COD_{Mn} 均有显著性降低(34.7%与29.9%, $P < 0.05$),其余指标($PO_4^{3-}-P$ 除外)也发生不同程度降低,但均无显著性变化($P > 0.05$)。在第二茬养殖45 d时,换水18.8%后,实验池各水质指标均无显著降低($P > 0.05$),其中TAN与 $NO_2^- -N$ 降幅(17.5%与20.0%)高于 $NO_3^- -N$ (3.2%), $PO_4^{3-}-P$ 与 COD_{Mn} 则略增。可见,实验条件下,虾池换水量需达20%以上,才对TAN、 $NO_2^- -N$ 与 COD_{Mn} 有较好降低效果。

2.3.2 启用增氧机改进养虾池水质的作用

表4为7~14号实验池启用增氧机前后主要水质指标变化。表4表明,在养殖60 d(第一茬)

与45 d(第二茬)时,开机使DO显著上升11.8%与29.4%,TAN显著降低34.8%与34.0% ($P < 0.05$),除 $NO_3^- -N$ (第一茬)与 $NO_2^- -N$ (第二茬)增加外,其余指标均有较小幅度降低。可见,实验中开机2 h,仅对DO、TAN有较好改善,若要使虾池水质全面改善,可延长开机时间。养殖全周期内,实验场虾池DO基本均维持在4 mg/L以上,此与其每天开机达18 h密切相关。

2.3.3 饵料投喂对养虾池水质的影响

表5为第一茬养殖60 d时,11、12号池(投饲量39 kg/d)与13、14号池(投饲量30 kg/d)投饲后2 h水质指标测定平均值。表5表明,仅较高投喂量11、12号池TAN在投饲后短时间内(2 h)即产生显著增加($P < 0.05$),其余指标均已较小幅度增或减。可见严格按照对虾存池量与生长状况确定投喂量,并边投喂边密切观察虾摄食状况,随时根据实际情况予以调整可有效降低残饵量及其对水质的污染。

表3 换水量对高密度温棚高位养虾池水质影响

Tab.3 The influence of changing water on water quality in greenhouse-high-intensive ponds

养殖天数/d culture days	水质指标 water quality index	换水百分比/% exchanged water percentage	含量/(mg/L) concentration		
			5、6号池/(mg/L) 5、6 pond	变化百分比/% change percentage	水源 water source
60(第一茬)	TAN	0	0.357 ± 0.014 ^a		0.271
		20	0.233 ± 0.007 ^b	34.7	0.265
	$NO_2^- -N$	0	5.383 ± 0.242 ^a		0.006
		20	4.933 ± 0.317 ^a	10.1	0.006
	$NO_3^- -N$	0	7.783 ± 0.392 ^a		0.047
		20	6.945 ± 0.173 ^a	2.5	0.042
	$PO_4^{3-}-P$	0	0.950 ± 0.068 ^a		0.655
		20	0.975 ± 0.063 ^a	-2.6	0.645
	COD_{Mn}	0	20.35 ± 0.68 ^a		4.720
		20	14.28 ± 0.49 ^b	29.9	4.580
45(第二茬)	TAN	0	0.453 ± 0.215 ^a		0.225
		18.8	0.373 ± 0.175 ^a	17.2	0.162
	$NO_2^- -N$	0	0.010 ± 0.009 ^a		0.005
		18.8	0.008 ± 0.008 ^a	20	0.006
	$NO_3^- -N$	0	0.094 ± 0.044 ^a		0.041
		18.8	0.091 ± 0.044 ^a	3.2	0.039
	$PO_4^{3-}-P$	0	0.177 ± 0.054 ^a		0.664
		18.8	0.190 ± 0.050 ^a	-6.8	0.670
	COD_{Mn}	0	12.73 ± 0.71 ^a		7.780
		18.8	13.05 ± 0.80 ^a	-2.5	7.640

注:同一列相同养殖阶段同一指标含不同字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。

Note: The same column of the same breeding stage index with different letters mean significant difference ($P < 0.05$).

表 4 开启增氧机对温棚高密度养虾池水质的改善作用

Tab. 4 The influence of starting aertor boot on water quality in greenhouse-high-intensive ponds

养殖天数/d culture days	水质指标 water quality index	开机前浓度/(mg/L) before startup concentration	开机后浓度/(mg/L) after startup concentration	浓度变化百分比/% change percentage
60(第一茬)	DO	6.8 ± 0.1 ^a	7.6 ± 0.1 ^b	11.8
	TAN	2.703 ± 0.283 ^a	1.762 ± 0.350 ^b	-34.8
	NO ₂ ⁻ -N	3.440 ± 0.368 ^a	3.364 ± 0.337 ^a	-2.2
	NO ₃ ⁻ -N	7.960 ± 0.956 ^a	8.256 ± 0.933 ^a	10.9
	PO ₄ ³⁻ -P	0.540 ± 0.0387 ^a	0.533 ± 0.029 ^a	-1.3
	COD _{Mn}	15.15 ± 3.90 ^a	14.18 ± 4.14 ^a	-6.4
45(第二茬)	DO	4.4 ± 0.2 ^a	5.7 ± 0.4 ^b	29.4
	TAN	0.350 ± 0.002 ^a	0.231 ± 0.005 ^b	-34
	NO ₂ ⁻ -N	0.002 ± 0.000 ^a	0.004 ± 0.000 ^a	100
	NO ₃ ⁻ -N	0.021 ± 0.001 ^a	0.020 ± 0.001 ^a	-4.8
	PO ₄ ³⁻ -P	0.096 ± 0.000 ^a	0.088 ± 0.000 ^a	-8.3
	COD _{Mn}	15.15 ± 3.90 ^a	14.18 ± 4.14 ^a	-6.4

注:同一行数据上标字母不同表示存在显著差异($P < 0.05$)。

Note: The means with different letters within the same line are significant differences at the 0.05 probability level.

表 5 温棚高密度养虾池投饲前后水质指标变化

Tab. 5 The influence of feeding amount on water quality in greenhouse-high-intensive

水质指标 water quality index	投喂前后 before or after feed	11 与 12 号池 11 and 12 pond		13 与 14 号池 13 and 14 pond	
		浓度/(mg/L) concentration	变化百分比/% change percentage	浓度/(mg/L) concentration	变化百分比/% change percentage
TAN	前 before	2.113 ± 0.180 ^a	17.9	3.285 ± 0.043 ^a	9.4
	后 after	2.491 ± 0.069 ^b		3.595 ± 0.038 ^a	
NO ₂ ⁻ -N	前 before	3.100 ± 0.303 ^a	2.1	1.794 ± 0.080 ^a	1.9
	后 after	3.166 ± 0.243 ^a		1.828 ± 0.076 ^a	
NO ₃ ⁻ -N	前 before	7.153 ± 0.529 ^a	3.3	4.611 ± 0.566 ^a	-3.1
	后 after	7.337 ± 0.585 ^a		4.467 ± 0.547 ^a	
PO ₄ ³⁻ -P	前 before	0.522 ± 0.005 ^a	-2.6	0.363 ± 0.004 ^a	-0.6
	后 after	0.508 ± 0.002 ^a		0.361 ± 0.004 ^a	
COD _{Mn}	前 before	17.06 ± 5.64 ^a	10.3	20.66 ± 0.62 ^a	10.1
	后 after	18.82 ± 5.81 ^a		22.75 ± 0.86 ^a	

注:同一列同一指标不同字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。

Note: The means with different letters within the same column are significant differences at the 0.05 probability level.

3 讨论

3.1 温棚高位池养殖凡纳滨对虾合适高密度

养殖密度是影响产量、水质与虾类生长的重要因素^[4-6],王小兵等^[6]指出,放养密度和单位产量成正相关,放养密度小于 210 ind/m² 时,产量随养殖密度增幅较大;陈剑锋^[22]发现,pH、DO 与养殖密度成负相关;李倩^[4]认为,放养密度低于 187.5 ind/m²,TAN、NO₂⁻-N 等随密度渐增;崔阔鹏^[5]提出,密度较高生长较慢,放养密度 150

ind/m²、240 ind/m² 平均体长显著高于 300 ind/m²。表 6 为本实验与资料[5]中不同密度养殖结果的比较,本实验密度为文献[5]的 2.6 ~ 4.7 倍,但生长指标与产量均明显优于后者,体质量与产量分别为后者的 1.3 ~ 1.6 和 2.1 ~ 2.8 倍。可见,虽实验养殖密度远高于上述报道,但虾生长指标与产量均优于上述报道^[4-6],主要水化指标也在虾生长安全范围。因此温棚高位池凡纳滨对虾养殖密度提高至 315 ~ 375 ind/m² 是合适可行的。

表 6 本实验与其他密度下的养殖效果比较

Tab. 6 The difference of breeding benefit between this experiment and other densities

项目 item	本实验 the experiment		崔阔鹏 ^[5]	
	375 ind/m ²	315 ind/m ²	80 ind/m ²	120 ind/m ²
体长 average body length/cm	11.91	11.53	8.82	8.22
体质量 average body weight/g	9.93	9.93	7.87	6.08
体长周增长量 weekly length gain/(cm/w)	0.96	0.94	0.59	0.55
体质量周增重量 weekly weight gain/(g/w)	1.19	1.12	0.52	0.41
饵料系数 food conversion ration	1.33	1.08	1.42	1.86
单位水体产量 specific yield/(kg/m ²)	1.54	1.32	0.55	0.63

注:实验养殖天数为 70 d,崔阔鹏^[5]养殖天数为 82 d。

Note: The experimental culturing 70 days, the literature culturing^[5] 82 days.

3.2 温棚高位池高密度养殖凡纳滨对虾水质简易调控措施

当前我国虾类养殖中,极重视利用增氧机、调节换水量及控制投饲量等措施调控虾池水质。尽管鞠波等^[23]利用生态湿地循环水养殖罗氏沼虾与臧维玲等^[18]采用臭氧消毒与蛋白分离器等开展室内对虾集约化养殖,但仍很重视溶氧调控,两者均利用新型高效微泡增氧机使 DO 维持较高水平(7.86~8.6,4.38~6.76 mg/L)。实验启用增氧机 2 h 后,发现虾池 DO 和 TAN 分别呈显著增加和减少;养殖 30 d 后,逐渐增加增氧机开启时间,中后期每日约 18 h,此是该场高密度养殖获高产的重要原因之一。传统养殖法常无节制地以高换水率改进水质,但严重污染周边水环境。养殖场在中后期加大换水量,日换水量控制在 20% 内;实验发现虾池换水量 20% 即可显著降低 TAN 与 COD_{Mn}。严格控制投饲量能使水质得到改善,有关研究性养殖资料报道^[18,23]均提出必须根据虾与水质等情况严格控制投饲量。鞠波为获得养虾池良好水质与养殖效果,采用投饲量准确称量等多种措施,使虾池 NH₃-Nm、NO₂⁻-N 均处于安全范围。实验发现,较高投饲量后短时间(2 h)即使 TAN 显著增加(P<0.05),可见投饲料量得当,利于维持良好水质。

综上所述,采用合理启用增氧机、适当换水、严格控制与调节投饲量等简易调控措施对水质有一定改善作用。但如何提高科学综合利用简易调控措施以达到最佳的虾池水质改善作用,尚需进一步探讨。

宁波等地区于 4 月初,采用温棚高位池以养殖密度为 315~375 ind/m² 和简易水质调控措施开展两茬凡纳滨对虾养殖是可行的。

参考文献:

- [1] 张文强,杜若谦,常传刚,等. 南方高位池养虾模式[J]. 齐鲁渔业, 2003, 20(5): 17-18.
ZHANG W Q, DU R Q, CHANG Z G, et al. High-intensive ponds cultivation mode in southern of China[J]. Shandong Fisheries, 2003, 20(5): 17-18.
- [2] 郑冠雄,陈基新,郭泽雄,等. 高位池(地膜)鱼虾混养试验[J]. 现代渔业信息, 2003, 18(10): 27-29.
ZHENG G X, CHEN J X, GUO Z X, et al. Experiment on mixed culture between fish and shrimp in the high water level pond with film cover[J]. Modern Fisheries Information, 2003, 18(10): 27-29.
- [3] 林金忠,林星. 我国对虾养殖模式现状及其发展趋势[J]. 现代渔业信息, 1999, 14(6): 18-21.
LIN J Z, LIN X. The status and prospective of penaeid shrimp farming model in China[J]. Modern Fisheries Information, 1999, 14(6): 18-21.
- [4] 李倩,周志明,杭小英,等. 南美白对虾不同养殖密度水质变化规律与养殖效益的分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 100-104.
LI Q, ZHOU Z M, HANG X Y, et al. Analysis of water quality changes under different breeding density and breeding benefit of *Penaeus vannamei* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(2): 100-104.
- [5] 崔阔鹏. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)温棚和高位池养殖模式的水质因子变动及养殖效益的分析研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2009.
CUI K P. Comparative study on variation of main water quality parameters and culture benefits between *Litopenaeus vannamei* culture in plastic greenhouses ponds and high-intensive ponds[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [6] 王小兵,黄勃,邓中日. 南美白对虾高位池养殖模式最适放养密度的调查[J]. 水产科学, 2005, 24(5): 20-22.
WANG X B, HUANG B, DENG Z R. Survey on pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture in Hainan province[J]. Fisheries Science, 2005, 24(5): 20-22.

- [7] 何建国, 孙成波. 高位池对虾精养技术及病害防治 I. 高位池种类、结构[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(6): 6-10, 16.
HE J G, SUN C B. Technology of intensive penaeid shrimp culture and disease control[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(6): 6-10, 16.
- [8] 陆家昌, 黄翔鹤, 李活, 等. 光合细菌对养殖水质及凡纳滨对虾抗病力的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(6): 87-91.
LU J C, HUANG X H, LI H, et al. Effect of photosynthetic bacteria on water quality and anti-disease ability of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(6): 87-91.
- [9] 罗杰, 钟志华, 罗伟林. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)高位池养殖中几个单项因子试验[J]. 海洋湖沼通报, 2005(3): 38-43.
LUO J, ZHONG Z H, LUO W M. Single-factor experiments on resaring *Litopenaeus vannamei* in high-elevation ponds [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2005(3): 38-43.
- [10] 陈红瑞. 微孔管道增氧对渔业水质的影响[D]. 太原: 山西大学, 2011.
CHENG H R. The Influence of adding oxygen with microporous pipeline on fishery's water [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2011.
- [11] 郭印. 不同物候条件下虾塘水质状况与植物修复技术的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
GUO Y. Research of water quality in shrimp pond by different kind of weather and technique ecological plant rehabilitation [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [12] 刘颖, 丁桂珍, 胡廷红, 等. 枯草芽孢杆菌对养殖水体水质影响研究[J]. 淡水渔业, 2004, 34(5): 12-14.
LIU Y, DING G Z, HU C H, et al. Effects of bacillus subtilis on water quality of cultural ponds [J]. Freshwater Fisheries, 2004, 34(5): 12-14.
- [13] 张峰峰, 谢凤行, 赵玉洁, 等. 枯草芽孢杆菌水质净化作用的研究[J]. 华北农学报, 2009, 24(4): 218-221.
ZHANG F F, XIE F X, ZHAO Y J, et al. Effect of Bacillus subtilis on purification of aquaculture wastewater [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2009, 24(4): 218-221.
- [14] ALABASTER J S, LLOYD R S. Water quality criteria for freshwater fish [M]. London, University Press of Cambridge, 1982: 85-87.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 200-284.
The state environmental protection administration. Water and wastewater detection analysis method [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 200-284.
- [16] 国家质量技术监督局. 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, 2004: 142-143, 150-162.
The State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB 17378.4-1998. The specification for marine monitoring Part 4: Seawater analysis [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004: 142-143, 150-162.
- [17] 王兴强, 马铎, 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, 2005, (4): 94-100.
WANG X Q, MA S, DONG S L. Studies on the biology and cultural ecology of *Litopenaeus vannamei*; a review [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2005, (4): 94-100.
- [18] 臧维玲, 侯文杰, 戴习林, 等. 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[J]. 水产学报, 2013, 37(11): 1670-1678.
ZANG W L, HOU W J, DAI X L, et al. Effect of regulating-controlling water quality by water recycling-treating system at low frequency and nutrient budgets for indoor intensive shrimp aquaculture [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(11): 1670-1678.
- [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] 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 G M, TANG J H, ZHONG X M. Toxicity research of ammonia nitrogen and nitrite nitrogen to *Penaeus vannamei* [J]. Journal of Aquaculture, 2002(1): 22-24.
- [21] 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.
- [22] 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.
CHEN J F, LAI T H, TONG W P. Fluctuation of pH Values in water of industrialized cultivation of white-leg shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Fisheries Science, 2006, 25(9): 456-458.
- [23] 戴习林, 鞠波, 臧维玲, 等. 罗氏沼虾池塘间歇运转人工湿地调控水质效果及其生长特征[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(5): 680-689.
DAI X L, JU B, ZANG W L, et al. The effect of regulating-controlling water quality by constructed wetlands at intermittent operation for *Macrobrachium rosenbergii* culture and the prawn growth characteristic [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(5): 680-689.

Research of breeding density and water quality control measures in *Litopenaeus vannamei* greenhouse high-intensive ponds

LIU Jun, DAI Xilin, ZANG Weiling

(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Currently *Litopenaeus vannamei* play an important role in shrimp culture industry, greenhouse high-intensive ponds was an important farming method in Ningbo, Zhejiang. Research on stocking density and water quality control technology is imperative to promote the farming method. Through the first crop of 70 days breeding experiments we found that the result is good about using high density ($315 \text{ ind}/\text{m}^2$, $375 \text{ ind}/\text{m}^2$) breeding, the yields were $1.54 \text{ kg}/\text{m}^2$ and $1.32 \text{ kg}/\text{m}^2$, respectively. Significant difference was no observed on the effects of the growth and breeding of shrimp in the two level of breeding density, and then no significant difference was observed in the water quality indexes, $\text{NH}_3\text{-Nm}$ ($0.058 - 0.081 \text{ mg}$) and $\text{NO}_2^- \text{-N}$ ($0.001 - 4.290 \text{ mg}/\text{L}$) were controlled in the normal range. Main water quality indexes was improved by changing the amount of water, controlling the feed, using aerator and probiotics. TAN and COD_{Mn} was significantly decreased 34.7% and 29.9%, when the quantity of exchanged water was reached 20%, and increased 11.8% - 29.4% DO in using aerators 2 hours later. Seedling densities greater than $300 \text{ ind}/\text{m}^2$ are feasible in greenhouse high-intensive ponds, and water quality can be regulated by a simple control measures, this would promote greenhouse high-intensive ponds culturing *Litopenaeus vannamei*.

Key words: greenhouse; high-intensive ponds; *Litopenaeus vannamei*; breeding density; water quality; control measures