

doi: 10.3969/j. issn. 2095-0780. 2015. 06. 003

## 混养罗非鱼对凡纳滨对虾养殖围隔中悬浮颗粒物和弧菌数量的影响

粟丽, 朱长波, 陈素文

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘要:** 于2011年6月~8月在广东省茂名市电白县对虾养殖场选取一口池塘, 设置24个围隔进行凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)与吉丽罗非鱼(GILI tilapia)围隔混养实验。实验设6个处理组(A、B、C、D、E和F), 每组4个平行, 单个围隔为一平行, 每个围隔放养凡纳滨对虾苗3 000尾, 其中实验组A、B、C、D和E组每围隔在放养虾苗28 d之后分别混养罗非鱼(平均体质量200 g)4、8、12、18和24尾, 对照组F不放养罗非鱼。实验过程中跟踪调查了养殖水体中悬浮颗粒物和弧菌数量变动情况, 结果显示: 1) 养殖前期实验组与对照组的总颗粒悬浮物(TPM)、颗粒有机物(POM)、颗粒无机物(PIM)含量以及POM/TPM、PIM/TPM均较接近, 养殖中后期实验组的TPM、PIM含量及POM/TPM均高于对照组, 而实验组的PIM/TPM则低于对照组, 实验组中C、D和E组PIM含量百分比A和B组高; 2) 养殖后期各围隔中弧菌数量普遍高于养殖前期, 为 $(1.01 \sim 152.33) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 均值为 $(15.08 \pm 24.50) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 实验组中弧菌数量A组最多, B组次之, 而C和D组相对较少。结果表明, 对虾-罗非鱼混养模式下, 放养大规格罗非鱼种, 虾、鱼数量比在250:1可以有效降低虾池有机质积累, 改善虾池养殖环境, 而且明显抑制弧菌的过度增殖, 提高养殖效益。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 吉丽罗非鱼; 悬浮颗粒物; 颗粒有机物; 弧菌

中图分类号: S 968.22 + 9.92

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2015)06-0019-08

## Effect of tilapia polyculture on quantity of suspended particulate matter and *Vibrio* in *Litopenaeus vannamei* rearing enclosure

SU Li, ZHU Changbo, CHEN Suwen

(Key Lab. of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** We conducted an experiment on the polyculture of *Litopenaeus vannamei*. GILI tilapia had been cultured in 24 enclosures in a pond located at Dianbai, Maoming City, Guangdong Province from June to August, 2011. We set 6 treatments with 4 replicates each, and a single enclosure was a replicate. Each enclosure was stocked with 3 000 shrimp seeds. Treatments A, B, C, D and E were polycultured with 4, 8, 12, 18 and 24 juvenile GILI tilapia after 28-day shrimp seeding, while the other 4 enclosures without tilapia were set as the control group F. Quantity of suspended particulate matter and *Vibrio* in polyculture enclosures were observed periodically so as to analyze the effect of tilapia polyculture on the quantity of suspended particulate matter and *Vibrio* in *L. vannamei* rearing enclosure. The results show that: 1) The content of total particular matter (TPM), particular organic matter (POM), particular in-

收稿日期: 2014-12-12; 修回日期: 2015-03-17

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B03); 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(2014ZD01); 广东省科技计划项目(2013B040500020, 2013B090500081)

作者简介: 粟丽(1985-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事海水养殖和海洋浮游植物生态研究。E-mail: suli@scsfri.ac.cn

通信作者: 朱长波(1978-), 男, 博士, 副研究员, 从事水产养殖与水生生态系统建模研究。E-mail: changbo@ecowin.org

organic matter (PIM), POM/TPM and PIM/TPM were identical among treatments at earlier culture stage; at the mid and later stage, POM/TPM, the contents of TPM and PIM were higher in experimental groups than in the control, while PIM/TPM was higher in the control than in experimental groups; PIM/TPMs in group C, group D and group E were higher than in Group A and Group B. 2) At later stage, the *Vibrio* quantity ranged from  $1.01 \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$  to  $152.33 \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$  [average  $(15.08 \pm 24.50) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ]. The quantity of *Vibrio* was the highest in Group A, followed by Group B, Group C and Group D. These results indicate that under the shrimp-tilapia polyculture model with big tilapia fries, when the initial stocking ratio of shrimp to tilapia was about 250:1, the sediment organic matter accumulation and over reproduction of *Vibrio* could be decreased effectively, which can improve environment and economic benefit.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; GILI tilapia; suspended particulate matter; particulate organic matter; *Vibrio*

虾池中悬浮颗粒物主要由颗粒有机物 (particular organic matter, POM) 和颗粒无机物 (particular inorganic matter, PIM) 组成, 前者主要由浮游生物、颗粒腐质以及细菌等组成。悬浮颗粒物可影响水体的透明度, 其性质和含量是评价水域生态系统功能特征的重要指标, 研究对虾养殖水体悬浮颗粒物的组成及含量, 对养殖水质管理具有重要意义。弧菌 (*Vibrio*) 是对虾细菌病害中最常见的病原细菌, 也是一类条件致病菌, 在环境条件恶化时可使对虾感染发病。有关研究发现虾病的爆发常与养殖水环境条件密切相关<sup>[1-2]</sup>, 因此目前对虾疾病防治研究也向改善养殖水体生态环境、消灭或控制病原体和提高虾体抗病能力等方向发展<sup>[3]</sup>。鱼虾混养模式是改善养殖环境、防控对虾疾病爆发、提高养殖经济效益和生态效益的有效途径之一<sup>[4]</sup>。曲克明等<sup>[5]</sup>研究了鱼虾混养对中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 养殖体系环境的影响, 发现鱼虾混养增加了水环境中浮游植物的数量, 减少了水环境中异养细菌和弧菌数量; 李秋芬等<sup>[6]</sup>对鱼虾混养生态系中细菌动态变化的研究, 发现混养池中弧菌的数量一直低于单养池; TENDENCIA 等<sup>[7]</sup>的鱼虾混养实验显示, 对虾养殖密度为  $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 混养密度为  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 和点带石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*) 均能有效控制养殖水体中发光细菌的生长, 有效提高对虾成活率。然而, 目前所开展的鱼虾混养实验研究多在单一配比下进行, 而关于不同混养配比对生态系统中悬浮颗粒物的动态变化与弧菌数量影响的研究鲜见报道。该研究采用围隔实验生态学方法, 研究了不同比例吉丽罗非鱼 (GILI tilapia)-凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 混养池中悬浮颗粒物含量和弧菌数量, 以期为优化鱼虾混养搭配比例提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计

选取的凡纳滨对虾养殖池塘位于广东省电白县冠利达科技生物养殖公司, 池塘面积为  $3600 \text{ m}^2$ , 经清塘、翻耕、暴晒和严格消毒后搭建实验围隔。对虾养殖期间可保持池塘水深  $1.60 \text{ m}$ , 盐度  $18 \sim 20$ 。

实验围隔以双面涂塑高密度聚乙烯编织布为围幔, 以青竹为支架搭建于上述池塘中, 共设置面积均为  $36 \text{ m}^2$  的围隔 24 个。围隔搭建方法参照李德尚等<sup>[8]</sup>的方法。围隔上部均超出水面  $0.5 \text{ m}$ , 下部埋入池底  $0.5 \text{ m}$ , 内部均匀放置气石 16 个, 24 个围隔同时用一台二叶型罗茨鼓风机曝气充氧(围隔的设置见图 1)。

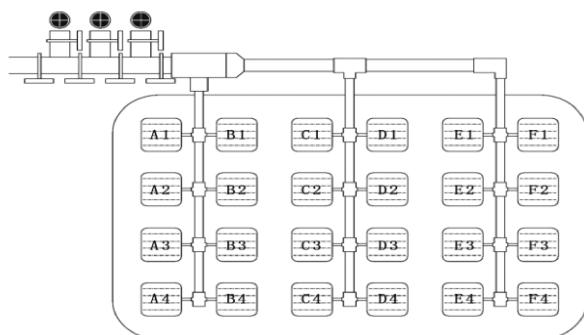


图 1 实验池塘中的围隔设置

Fig. 1 Enclosures in experimental pond

实验设计了 6 组 (A、B、C、D、E 和 F), 每组 4 个平行, 其中实验组为 A ~ E, 对照组为 F。池塘经过 10 d 的消毒、肥水后再将围隔的围幔拉出水面固定于青竹支架上, 保证围隔中的初始水环境基本相同。6 月 10 日放养虾苗, 每个围隔放养平均体长  $0.8 \text{ cm}$  的凡纳滨对虾苗 3 000 尾。7 月 8 日在 A、B、C、D 和 E 组每围隔中分别放养平均

体质量 200 g 的吉丽罗非鱼 4、8、12、18 和 24 尾, 实验组虾、鱼数量比分别为 750 : 1、375 : 1、250 : 1、166 : 1 和 125 : 1。对照组 F 不放养罗非鱼。养殖全程不换水, 饲料投喂及日常管理与虞为等<sup>[9]</sup>的实验相同。实验过程中由于部分围隔内的对虾发病并出现不同程度死亡(A1、A3、B2、B4、C1、C4、D1、D3、E2、E4、F1 和 F4), 数据统计时未记在内。

## 1.2 水体悬浮颗粒物采样与分析

采样间隔平均为 10 d, 采样时间为上午 10 时左右, 采样时的水温范围为 25 ~ 32 °C。用有机玻璃采水器在每个围隔中采集混合水样, 充分混匀后用抽滤泵抽滤水样 500 mL 至 GF/C 玻璃纤维滤纸(孔径为 1.2 μm)上。相应的 GF/C 玻璃纤维滤纸已提前在马弗炉中经 450 °C 灼烧 5 h 并称质量( $W_0$ )记录。滤有颗粒物的玻璃纤维滤纸先经 60 °C 烘干 24 h 后称质量( $W_{60}$ ), 再于 450 °C 下灼烧 5 h 再次称质量( $W_{450}$ )。滤纸用 Satorius Research 电子天平(精确到 0.000 1 g)称量。水体中总颗粒悬浮物(total particular matter, TPM)、POM 和 PIM 含量采用以下列公式计算<sup>[10-11]</sup>:

$$TPM = W_{60} - W_0 \quad (1)$$

$$POM = W_{60} - W_{450} \quad (2)$$

$$PIM = TPM - POM \quad (3)$$

计算结果换算成以 mg·L<sup>-1</sup> 为单位。

## 1.3 弧菌数量分析

自 2011 年 6 月 ~ 8 月每隔 10 d 左右对围隔内水样进行采样, 当天带回实验室处理。采用 TCBS 培养基进行培养, 水样稀释后取 0.1 mL 涂布于培养基平板上, 置 25 °C 恒温培养箱培养 2 d 后对弧菌进行计数。每个水样 3 个平行, 结果取其平均值。弧菌样品的采集、培养、计数方法等均参照海洋监测规范进行<sup>[12]</sup>。

## 1.4 叶绿素 a 分析

叶绿素 a(Chl-a)质量浓度的分析采用分光光度法。样品的采集用 GF/F 玻璃纤维滤膜(0.7 μm 孔径)抽滤适量水样, 然后将抽滤过的滤膜放入 10 mL 的离心管中, 加入 5 mL 90% 丙酮溶液, 放置于冰箱贮存室中抽提 16 h, 用 UV-1800 型紫外可见分光光度计分别在 750 nm、664 nm、647 nm 和 630 nm 处测定。计算公式参照赵文等<sup>[13]</sup>的方法:

$$\rho_{Chl-a} = (11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630})V_0/V \times L$$

式中  $\rho_{Chl-a}$  为样品中 Chl-a 质量浓度(μg·L<sup>-1</sup>);  $V_0$  为样品提取液体积(mL);  $V$  为实际滤水量(L);  $L$  为测定池光程(cm)。

## 2 结果与分析

### 2.1 实验期间天气及养殖情况

天气和养殖情况见表 1。6 月 29 日起出现了连续 4 d 的阴雨天气, 7 月 10 日又出现了 10 d 的连阴雨天气; 6 月 10 日放养虾苗, 7 月 5 日围隔内开始陆续出现死虾, 7 月 8 日在实验组中分别放养不同密度的罗非鱼, 放鱼后各围隔死虾情况有所缓解, 8 月 18 日收虾, 对虾养殖 68 d, 罗非鱼养殖 40 d。实验结束时各组试验围隔对虾和罗非鱼的成活和收获情况见表 2。虾鱼混养组对虾的成活率均明显高于对照组 F, 而 B 组和 C 组对虾成活率都超过了 60%, 为各组中最高。各混养组对虾的收获规格和总产量均明显超过对照组 F。混养的罗非鱼全部成活, 且其产量从 A 组到 E 组随着放养量的增加而增大。各混养组间对虾和罗非鱼的收获规格未发现明显规律。

### 2.2 各组围隔 TPM、POM 和 PIM 变化

在整个养殖期间, TPM 动态变化情况为养殖前期实验组和对照组的质量浓度相近, 养殖中、后期实验组的质量浓度高于对照组; POM 质量浓度在整个养殖期间波动较小, 整体上来说养殖前、中、后期 POM 的质量浓度相近, 只是在 8 月 4 日略有降低, 之后有所升高; PIM 质量浓度在养殖前期实验组和对照组相近, 养殖中、后期实验组高于对照组。对照组 PIM 质量浓度在整个养殖期间波动较小, 前、中、后期质量浓度相近。而实验组波动较大, 养殖中、后期高于养殖前期(图 2)。

### 2.3 各组围隔 POM 和 PIM 占 TPM 百分比

在养殖前期实验组和对照组 POM 与 PIM 在 TPM 中所占的比例均相近; 养殖后期 POM 在 TPM 中所占的比例为对照组高于实验组, 而 PIM 在 TPM 中所占的比例则是实验组高于对照组。整个养殖过程养殖水体中 POM 所占比例呈减少的变化趋势, 而 PIM 所占比例则相反。在养殖后期, 放鱼量多的 C、D 和 E 组 PIM 所占的比例比放鱼少的 A 和 B 组高(图 3-a、b)。

### 2.4 Chl-a 质量浓度变化

在对虾养殖过程中 Chl-a 质量浓度呈现一个动态变化的过程, 为 0.38 ~ 30.78 μg·L<sup>-1</sup>, 平均为

表1 实验期间的天气及主要事件

Tab. 1 Weather and notable events during experiment

时间 date	天气和养殖情况 weather and notable event	时间 date	天气和养殖情况 weather and notable event
6月29日	上午大雨,下午阴	7月14日	上午阴天,下午阵雨
6月30日	早上小雨,全天阴天	7月15日	上午阴天,晚上雨
7月1日	上午阴雨,下午晴	7月16日	上午晴,下午阴天
7月2日	上午阵雨	7月17日	全天下雨
7月3日	全天阴天	7月18日	上午阴天,晚上大雨
7月4日	晴	7月19日	上午雨,晚上雨
7月5日	晴,C4发现死虾	7月20日	全天阴天阵雨
7月6日	晴,C4发现死虾	7月21日~28日	晴天
7月7日	晴,C4、B4发现死虾	7月29日~31日	阴天有风
7月8日	晴,D1、E4、D3、B2、B4发现死虾,放养罗非鱼入围隔	8月1日~9日	晴天
7月9日	A2、E4发现死虾	8月10日	上午雨
7月11日	上午阴,下午阵雨	8月12日~15日	晴天
7月12日	全天阴天	8月18日	收虾
7月13日	凌晨大雨,白天阴天		

表2 养殖实验结束时围隔内对虾和罗非鱼的成活和收获情况

Tab. 2 Survival and production of shrimp and tilapia in enclosures at the end of experiment

品种 species	组别 group	养殖期/d culture period	面积/m <sup>2</sup> area	收获规格 <sup>*</sup> /g harvest size	成活率/% survival	产量/kg production
对虾 shrimp	A	68	72	11.49 ± 1.70	49.1	35.70
	B	68	72	9.01 ± 2.76	64.0	36.75
	C	68	72	8.70 ± 1.63	64.5	37.80
	D	68	72	10.10 ± 3.51	49.0	26.25
	E	68	72	10.31 ± 0.45	54.1	33.60
	F	68	72	5.78 ± 1.94	40.5	15.23
罗非鱼 tilapia	A	40	72	558 ± 63	100	4.47
	B	40	72	400 ± 14	100	6.40
	C	40	72	467 ± 47	100	11.20
	D	40	72	386 ± 14	100	13.89
	E	40	72	507 ± 68	100	24.33
	F	—	72	—	—	—

注: \*. 虾鱼成活和产量数据为各处理组未发生虾病的2个围隔的总和

Note: \*. The survival and production of shrimp and fish in this table were summary of the two enclosures without shrimp diseases of each treatment.

8.81  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。整体上来说, A组波动最大(3.79 ~ 30.78  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 平均为 $(18.56 \pm 8.58) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; C、D组次之(0.55 ~ 18.19  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 平均分别为 $(8.61 \pm 8.36) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(9.70 \pm 3.79) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 对

照F组波动最小(0.38 ~ 4.98  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 平均为 $(2.05 \pm 1.77) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 各组围隔 Chl-a 质量浓度在7月20日有较大波动, 可能与连续暴雨天气导致的池塘理化因子剧烈变化有关(图4)。

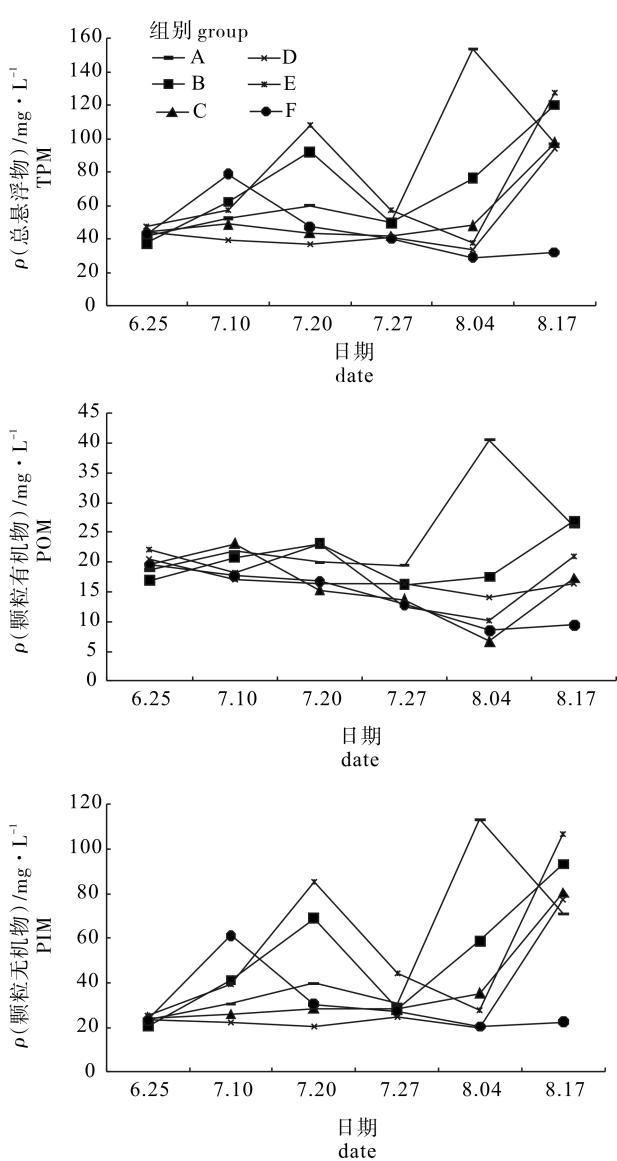


图2 各组围隔总悬浮物、颗粒有机物和颗粒无机物平均质量浓度的动态变化

Fig. 2 Dynamic variations of average TPM, POM and PIM in experimental enclosures

## 2.5 各组围隔养殖水体中弧菌数量

各围隔弧菌数量在养殖期间呈现一个动态变化的过程, 数量为  $1.01 \times 10^3 \sim 152.33 \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 平均为  $(15.08 \pm 24.50) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; 其中对照 F 组数量波动最小 [ $(1.01 \sim 7.60) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 平均为  $(4.16 \pm 2.55) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; A 组波动最大 [ $(1.70 \sim 152.33) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 平均为  $(33.65 \pm 53.36) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; 其次为 B 组 [ $(2.17 \sim 55.67) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 平均为  $(20.76 \pm 16.86) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ; C、D 组在实验组中波动相对较小 [ $(1.57 \sim 29.40) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 平均为  $(10.83 \pm 10.89) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ]; E 组波动介于 B、C、D 之间 [ $(1.57 \sim 29.40) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 平均为  $(10.83 \pm 10.89) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 其中 A、B、C、D、E 组弧菌数量在养殖后期显著增加, 而对照组 F 在整个养殖期间弧菌数量相对较低且波动较小。

$\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ], 平均分别为  $(9.83 \pm 10.89) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $(9.81 \pm 8.73) \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$  (图 5)。

总体而言, 各围隔弧菌数量变化为养殖后期高于养殖前期, 这与饲料投喂量增加和对虾代谢导致的有机物富集有关。实验组中 A 组弧菌平均数量最多, 其次是 B 组, 放养罗非鱼较多的 C、D、E 组弧菌量明显降低。而对照组 F 因对虾成活率最低导致投饵量和产量最少, 弧菌数量一直较低。由此可见, 对虾养殖水体混养罗非鱼可促进有机质的矿化分解, 对弧菌的增殖具有一定的调控作用。

## 3 讨论

### 3.1 混养罗非鱼对虾池悬浮颗粒物动态变化的影响

水体中影响悬浮颗粒物含量的因子较多, 其中生物扰动及摄食作用对悬浮颗粒物的组成及含量影响较大。杨群慧等<sup>[14]</sup>认为海底生物扰动作用可以充分改变沉积物的物理、化学特性, 扭曲或模糊地层学信号, 影响早期成岩过程和沉积物的稳定性。杨建雷等<sup>[15]</sup>对混养鱼池总悬浮颗粒物的研究, 认为其波动与水体中浮游生物生长、鱼类摄食及运动等因素密切相关。可见生物扰动作用对水体悬浮颗粒物含量有很大的影响。罗非鱼游动速度快而敏捷, 其对水体的扰动作用非常明显, 可促进底质的再悬浮, 增加水体中悬浮颗粒物的含量, 改变水体透明度。从该实验结果可以看出, 放鱼围隔 TPM 含量高于对照组, PIM 含量也高于对照组, 到养殖后期 PIM 在 TPM 中所占的比例高出对照组 13%。刘国才等<sup>[16]</sup>对对虾单养围隔生态系颗粒悬浮物进行了研究, 发现 PIM 占 38%, POM 占 62%; 杨建雷等<sup>[15]</sup>对草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和鲤 (*Cyprinus carpio*) 混养池塘中悬浮颗粒物组成变化的研究发现 PIM 占 49.92%, POM 占 50.08%; 赵文等<sup>[17]</sup>对刺参 (*Stichopus japonicus*) 养殖池塘颗粒悬浮物结构的研究发现 PIM 占 69.13%, POM 占 30.87%; 而该实验养殖后期 PIM 所占比例可高达 83.49%, 放鱼密度越大 PIM 含量越高, POM 含量则越低。其原因可能是罗非鱼的摄食减少了虾池颗粒有机物部分残饵、有机碎屑、浮游生物等, 其活动加速了底质的再悬浮, 促进了水体有机质的矿化, 从而增加了水

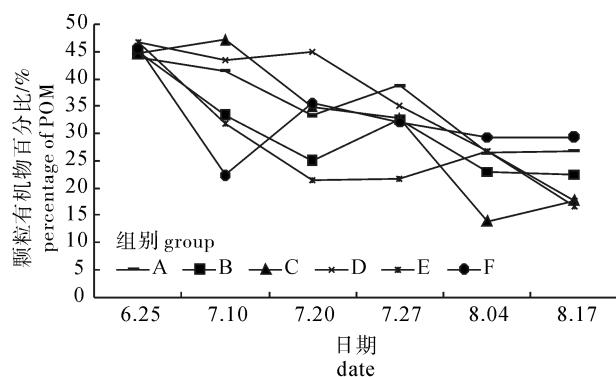


图3 各组围隔颗粒有机物和颗粒无机物占总悬浮物的平均百分比动态

Fig. 3 Dynamic variation of percentages of POM and PIM to TPM content in experimental enclosures

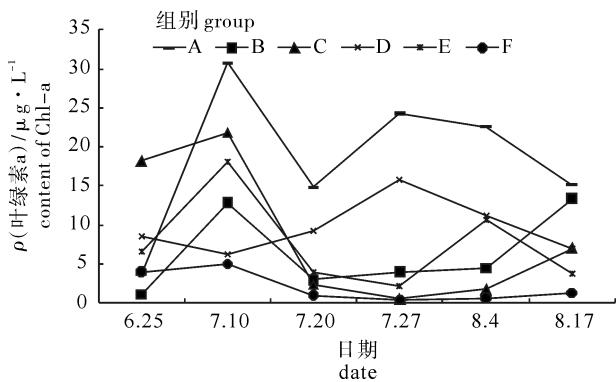


图4 各组围隔叶绿素a质量浓度动态变化

Fig. 4 Dynamic variation of average Chl-a concentration in experimental enclosures

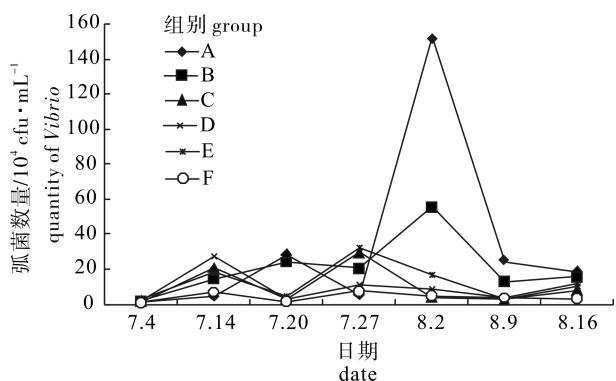
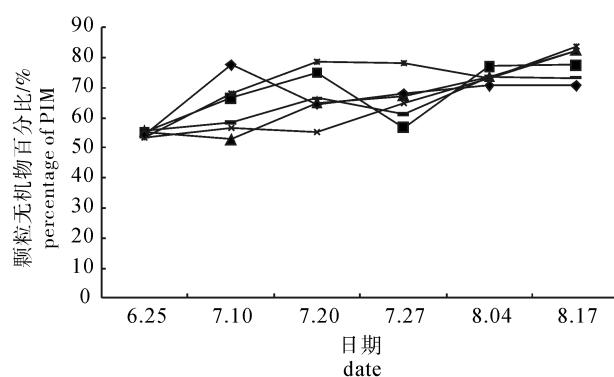


图5 各组围隔弧菌数量动态变化

Fig. 5 Dynamic variation of Vibrio quantity in experimental enclosures

体 PIM 的含量，导致水体 PIM 的含量高于 POM。

不同的罗非鱼放养密度对水体悬浮颗粒物含量以及比例有着不同的影响效果，从该实验结果可以看出罗非鱼放养密度越大，水体中 PIM 占的比例



越多，而 POM 含量越少，原因可能是较多的罗非鱼充分利用了养殖围隔中悬浮颗粒有机物。放养较低密度的罗非鱼不能充分利用虾池中的残饵、有机碎屑等，这些物质的积累导致虾池养殖水富营养化、浮游植物等大量生长，这可能是实验 A、B 组 Chl-a 含量高于其他实验组的原因。实验表明围隔中混养罗非鱼密度在  $0.3 \text{ 尾} \cdot \text{m}^{-2}$  以上，虾鱼数量比在 250 : 1 可以有效减少虾池有机质的积累，改善虾池养殖环境。

### 3.2 混养罗非鱼对虾池弧菌数量变化的影响

弧菌是一种条件致病菌，只有当水质环境条件恶劣、对虾体质衰弱时，才会导致对虾弧菌病的爆发。近年来，由于养殖水域生态环境恶化，弧菌已成为对虾养殖过程中最为常见、危害最大的病原菌之一。目前防治方法主要有生态防治、药物防治、免疫防治等<sup>[18]</sup>，其中生态防治越来越受到重视。从该生态混养实验结果可以看出，不同罗非鱼放养密度对水体弧菌数量有着不同的影响效果，实验中罗非鱼放养密度大，水体中弧菌数量相对较少，可能是罗非鱼通过对水体浮游植物、POM 等的影响，从而间接影响弧菌的生长繁殖。

虾池中混养罗非鱼，增加了养殖生态系统的稳定性。罗非鱼还可以通过滤食作用减少养殖水体的 POM，通过摄食、打洞等活动，增加水体悬浮颗粒物，促进有机质的矿化，改善底质。养殖环境的改善，减少了弧菌等条件致病菌的数量。TENDENCIA 等<sup>[19]</sup>的鱼虾混养研究发现对虾养殖密度为  $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  时池中放养  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  罗非鱼能有效控制养殖水体中哈氏弧菌 (*V. harveyi*) 的生长，但随着对虾密度增加其抑制效果下降。从该实验结果也可以看

出, 在对虾成活率相当的围隔中, 混养罗非鱼较多的C、D、E组弧菌数量比混养罗非鱼最少的A、B组明显降低, 养殖过程中弧菌数量波动也较平缓, 即混养罗非鱼的放养密度达到 $0.3\text{ 尾}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上或虾、鱼数量比 $250:1$ 以下时可以明显抑制弧菌的生长。考虑到混养过多罗非鱼会争抢对虾饲料, 降低养殖的综合经济效益, 以对虾-罗非鱼数量比 $250:1$ 为理想放养结构。

罗非鱼对虾池弧菌数量的调控作用可能源于其对浮游植物的促进作用。笔者研究中实验组水体的Chl-a质量浓度均高于对照组(图3-c), 间接表明虾池中混养罗非鱼促进了浮游植物的生长。有研究发现微藻具有排斥弧菌的能力, 藻细胞密度达到一定程度时弧菌生长将会受到限制<sup>[20]</sup>; 张学超等<sup>[21]</sup>也发现等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)、扁藻(*Tetraselmis chuii*)密度达 $10\times10^4\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时对弧菌有明显的抑制效果; OLSEN等发现用扁藻投喂卤虫可使卤虫体内的弧菌数量减少约75%; 姚雪梅等<sup>[23]</sup>研究发现牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)培育系统能够抑制2种弧菌的生长, 并随着接种密度增加其抑制弧菌所需时间缩短; 黄翔鹄等<sup>[24]</sup>在凡纳滨对虾养殖环境中引入固定化波吉卵囊藻(*Oocystis borgei*)和微绿球藻(*Nannochloris oculata*), 发现实验后期实验组弧菌的数量明显低于实验前期, 波吉卵囊藻和微绿球藻能够抑制弧菌的生长。在对虾养殖水环境中, 弧菌的数量与水温、盐度、氨氮、化学耗氧量和水体营养指数密切相关<sup>[25]</sup>。PRAYITNO和LATCHFORD<sup>[26]</sup>的弧菌感染对虾实验中得出低盐度10、15显著增强弧菌的毒性, 低pH(5.5)显著减小弧菌的致病力; 高尚德等<sup>[27]</sup>研究发现水体中5日化学需氧量( $\text{BOD}_5$ )达到 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上时, 水体中无论是细菌还是弧菌的生长速率均迅速加快, 底质中的弧菌数量与有机碳含量正相关, 有机碳含量越多, 弧菌的数量就越多。

综上所述, 在对虾-罗非鱼混养系统中, 放养大规格鱼种, 虾、鱼数量比在 $250:1$ 可以有效降低虾池有机质积累, 改善虾池养殖环境, 而且明显抑制弧菌的过度增殖, 提高养殖效益。

## 参考文献:

- EBRAHIMZADEH M H A, AKHONDZADEH BASTI A, MIRZAR- GARI S S, et al. *Vibrio parahaemolyticus* in cultured shrimps and their environment in South Iran[J]. *Int J Appl Res Vet M*, 2011, 5(3): 149-150.
- YINGKAJORN M, MITRAPARP-ARTHORN P, NUANUALSUW-AN S, et al. Prevalence and quantification of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* during shrimp culture in Thailand[J]. *Dis Aquat Org*, 2014, 112(2): 103-111.
- 文国樑, 李卓佳, 张家松, 等. 凡纳滨对虾病毒病防控技术[J]. 广东农业科学, 2011, 38(18): 112-116.
- SIMAO B R, BRITO L O, MAIA A S C, et al. Stocking densities and feeding strategies in shrimp and tilapia polyculture in tanks[J]. *Pesq Agropec Bras*, 2013, 48(8): 1088-1095.
- 曲克明, 陈碧鹃, 李秋芬, 等. 鱼虾混养对中国对虾养殖体系环境的影响[J]. 水产学报, 1999, 23(增刊): 39-45.
- 李秋芬, 陈碧鹃, 曲克明, 等. 鱼虾混养生态系中细菌动态变化的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 731-734.
- TENDENCIA E A, FERMIN A C, DELAPENA M R, et al. Effect of *Epinephelus coioides*, *Chanos chanos*, and GIFT tilapia in polyculture with *Penaeus monodon* on the growth of the luminous bacteria *Vibrio harveyi*[J]. *Aquaculture*, 2006, 253(1): 48-56.
- 李德尚, 杨红生, 王吉桥, 等. 一种池塘陆基实验围隔[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 199-204.
- 虞为, 李卓佳, 王丽花, 等. 对虾单养和对虾-罗非鱼混养试验围隔水质动态及产出效果的对比[J]. 中国渔业质量与标准, 2013, 3(2): 89-97.
- 郭永坚, 朱长波, 阴晓丽, 等. 凡纳滨对虾-鲻网围分隔混养模式下浮游植物动态变化特征[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 45-54.
- 栗丽, 朱长波, 张汉华, 等. 对虾池塘网箱养殖罗非鱼期间水体悬浮颗粒物的动态及对罗非鱼生长和存活的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 256-264.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范(第6部分): 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 18-29.
- 赵文, 王丽卿, 王高学, 等. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 509.
- 杨群慧, 周怀阳, 季福武, 等. 海底生物扰动作用及其对沉积过程和记录的影响[J]. 地球科学进展, 2008, 23(9): 932-941.
- 杨建雷, 高勤峰, 董双林, 等. 草鱼、鲢鱼和鲤鱼混养池塘中浮游生物和悬浮颗粒物组成变化的研究[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(10): 23-29.
- 刘国才, 李德尚, 卢静, 等. 对虾养殖围隔生态系颗粒悬浮物的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 350-352.
- 赵文, 张义伟, 魏杰, 等. 刺参养殖池塘颗粒悬浮物结构及其沉积作用[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 5749-5757.
- 郑天伦, 王国良, 金珊. 海水养殖动物弧菌病防治的研究进展[J]. 台湾海峡, 2002, 21(3): 372-378.
- TENDENCIA E A, DELAPENA M R, CHORESCA C H. Effect

- of shrimp biomass and feeding on the anti-*Vibrio harveyi* activity of *Tilapia* sp. in a simulated shrimp-tilapia polyculture system [J]. *Aquaculture*, 2006, 253(1): 154-162.
- [20] 林伟, 陈騁, 刘秀云. 饲料微藻培育系统内海洋弧菌生长特点[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(4): 398-403.
- [21] 张学超, 杨立平, 刘缵延, 等. 对虾育苗中常用海洋微藻抑菌作用的研究[J]. 水产科学, 2010, 29(2): 112-114.
- [22] OLSEN A I, OLSEN Y, ATTRAMADAL Y, et al. Effects of short term feeding of microalgae on the bacterial flora associated with juvenile *Artemia franciscana* [J]. *Aquaculture*, 2000, 190(1): 11-25.
- [23] 姚雪梅, 王琚, 王思, 等. 人工培养牟氏角毛藻对弧菌抑制效果研究[J]. 南方水产, 2005, 1(4): 41-46.
- [24] 黄翔鹄, 李长玲, 郑莲, 等. 固定化微藻对虾池弧菌数量动态的影响[J]. 水生生物学报, 2005, 29(6): 684-688.
- [25] 黄美珍, 吴立峰, 罗冬莲. 厦门对虾养殖水域异养细菌和弧菌的研究[J]. 福建水产, 1997(4): 1-5.
- [26] PRAYITNO S B, LATCHFORD J W. Experimental infections of crustaceans with luminous bacteria related to *Photobacterium* and *Vibrio*. Effect of salinity and pH on infectiosity[J]. *Aquaculture*, 1995, 132(1): 105-112.
- [27] 高尚德, 陈旭仁, 吴以平. 中国对虾养成期间虾池水体和底质中细菌含量的变化[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 138-142.

## 《南方水产科学》微信公众服务号上线通知

为充分利用新媒体的功能和优势, 满足作者、读者的偏好与新需求, 为大家提供优质、及时的信息服务, 《南方水产科学》隆重推出微信公众服务号, 欢迎关注!

该微信服务平台包含自助菜单, 用户可以随时使用底端的菜单, 自助查阅相关内容:

- 1) 在线网刊: 微信查看当期文章、过刊浏览、论文检索等(注: 苹果 IOS 系统可直接阅读 PDF 全文, 安卓系统需下载后浏览)。
- 2) 稿件系统: 作者查稿、审稿通知、账号切换。作者登陆后, 一旦稿件的状态发生变化, 系统会定时发送通知消息到作者的微信上。
- 3) 关于我们: 最新动态、期刊介绍、投稿指南、编委会、联系我们。

还有更多的内容等您来发现! 微信用户扫描下面的二维码或者搜索微信公众号“南方水产科学”、微信号“nfsekx”, 选择关注即可。

