

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00256

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

粟丽^{1,2}, 朱长波¹, 张汉华¹, 李卓佳¹, 余招龙³

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

3. 电白冠利达科技生物养殖有限公司, 广东 茂名 525435

摘要: 于 2010 年 8–10 月在广东省茂名市电白县鸡打港实验探讨了对虾–罗非鱼网箱混养池塘养殖期间水体中悬浮颗粒物(TPM)、颗粒有机物(POM)的动态变化及 POM 含量对罗非鱼生长和存活的影响。结果表明: (1)各池塘总颗粒悬浮物量(TPM)为 (83.1 ± 34.1) mg/L, 变动于 35.0~153.8 mg/L 之间; 颗粒无机物(PIM)含量为 (34.3 ± 11.8) mg/L, 变化于 19.0~54.0 mg/L 之间, 占总颗粒悬浮物的 41.28%; 浮游生物干重(PZ)波动在 2.43~22.477 mg/L 之间, 平均值为 (9.631 ± 5.911) mg/L, 其中浮游植物干重(DWP)为 (8.987 ± 5.983) mg/L, 变动于 2.298~22.105 mg/L 之间, 浮游动物干重(DWZ)为 (0.645 ± 0.607) mg/L, 变动于 0.018~2.724 mg/L 之间; 颗粒腐质与细菌量为 (38.966 ± 25.530) mg/L, 变动于 14.339~97.958 mg/L 之间, 占悬浮颗粒有机物的比例为 81.77%。(2)407 池网箱养殖吉丽罗非鱼的增重率和特定生长率均显著高于 406、408 池($P < 0.05$)。3 口池塘罗非鱼的存活率没有显著性差异。本研究旨在为对虾–罗非鱼池塘网箱混养模式的优化提供科学依据。

关键词: 罗非鱼; 悬浮颗粒物; 颗粒有机物; 增重率; 池塘网箱

中图分类号: Q178.1; S966.1

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2012)02–0256–09

混养又称多营养级复合水产养殖(Integrated Multi-Trophic Aquaculture, IMTA), 是中国池塘养殖的重要特点之一。国内外的研究实践表明, 鱼虾混合养殖模式是防控对虾暴发性流行病、提高饵料利用率、提高养殖效益和降低养殖风险的有效途径之一。

对虾池塘搭配滤食性鱼贝类在中国已得到广泛的应用。滤食性种类的一大作用是有助于控制虾池藻相, 而良好的藻相是目前对虾养殖成功的关键因素之一。池塘中单细胞藻繁殖过盛, 会造成水体中有机物过多, 容易导致细菌大量暴发,

使水的黏度增加, 消耗溶解氧, 影响对虾的生长。然而, 通过混养鲢鳙、罗非鱼等鱼类, 可以有选择性的滤食浮游藻类将藻类长期维持在活跃的分裂增殖期, 并将维持一个动态平衡, 保持池水藻相的鲜活嫩爽, 同时减少了水中营养盐的富集, 从而有利于提高虾苗的成活率, 减少对虾疾病的暴发^[1–2]。Tendencia^[3]研究发现对虾与牡蛎(*Ostrea*)和罗非鱼混养能有效控制对虾由于发光细菌引起的疾病。然而鱼虾混养也存在亟需解决的问题, 如混养品种的搭配、放养密度、饲料投喂策略以及病害防治等。池塘养殖系统水体中悬

收稿日期: 2011–08–30; 修订日期: 2011–10–26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30800851); 现代农业(虾)产业技术体系建设专项(NYCYTX-46); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD13B02, 2011BAD13B03); 广东省海洋渔业科技推广专项项目(A201009C01); 广东省科技计划项目粤科函财字[2009]627 号.

作者简介: 粟丽(1985–), 女, 在读硕士, 从事海水养殖生态研究. E-mail: sl751@163.com

通信作者: 张汉华, 研究员. E-mail: zhh502@163.net

浮颗粒物主要由颗粒有机物和颗粒无机物组成, 其中颗粒有机物主要组成部分为浮游生物及颗粒腐质。在养殖过程中, 颗粒有机物的数量和组成直接影响到滤食种类的摄食行为和生理活动, 是制约滤食种类生长的主要因素之一。因此研究水体悬浮颗粒物的组成和含量, 对鱼虾混养有很好的指导作用。吉丽罗非鱼(*Ji tilapia*)是2010年2月由农业部第1339号公告确认的耐盐性罗非鱼新品种, 食性杂, 耐盐性好, 生长速度快, 口感、肉质较好, 适合在盐度15~25水体中养殖。但是其养殖模式及其池塘环境因子对其生长的影响研究尚不充分。本文主要研究了对虾池塘网箱养殖吉丽罗非鱼水体中悬浮颗粒物的动态变化及其对罗非鱼生长和存活的影响, 以期对对虾-罗非鱼池塘网箱混养模式的优化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 池塘条件及实验设计

实验的3口凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)-吉丽罗非鱼网箱混养池塘位于广东省茂名市电白冠利达科技生物养殖有限公司, 池塘的养殖面积均为0.4 hm²(编号分别为406、407、408), 水深1.5 m。实验塘于2010年8月9日放养凡纳滨对虾, 密度均为90万尾/hm²; 每个池塘设置2 m×2 m×2 m规格的网箱5个, 于2010年8月28日在1至5号网箱内分别放养吉丽罗非鱼50、100、150、200和250尾, 具体设置情况见图1。

另外, 在网箱之外同时散养罗非鱼300尾。各池塘5个网箱中, 1号网箱不投饵, 其余4个网箱都投喂浮性罗非鱼颗粒饲料。

1.2 样品采集与处理

2010年8月28日至10月18日, 每10 d采集水样。采样时, 在每个池塘的四角及中央用2 L采水器各采水2份, 混匀, 取1 L水样加福尔马林固定用于浮游植物分析。另用浮游动物网过滤10 L水样装瓶, 用于浮游动物的定量分析。再取2 L水样带回实验室抽滤, 进行悬浮颗粒物含量分析。

1.3 总颗粒物(TPM)和颗粒有机物(POM)分析

先将GF/C玻璃纤维滤纸(0.45 μm)经450 °C灼烧5 h, 然后称重(W_0)并作好标记。分析时, 在0.3 Pa下抽滤500 mL水样, 然后将带有样品的滤纸在60 °C烘干24 h后称重(W_{60}); 再经450 °C灼烧5 h后称重(W_{450})。用Satorius Research电子天平称重(精确到0.000 1g)。总颗粒悬浮物(TPM, total particulate matter)和颗粒有机物(POM, particulate organic matter)以下列公式^[4-5]计算:

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

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

计算结果换算成以mg/L为单位。

1.4 浮游生物生物量

浮游植物和浮游动物的定量, 是将定量样品摇匀, 取0.1 mL样品置于浮游动植物计数框中, 在显微镜下计数, 测量各种类体积, 按比重为1换算为生物量(湿重), 再按1/7换算为干重值^[6],

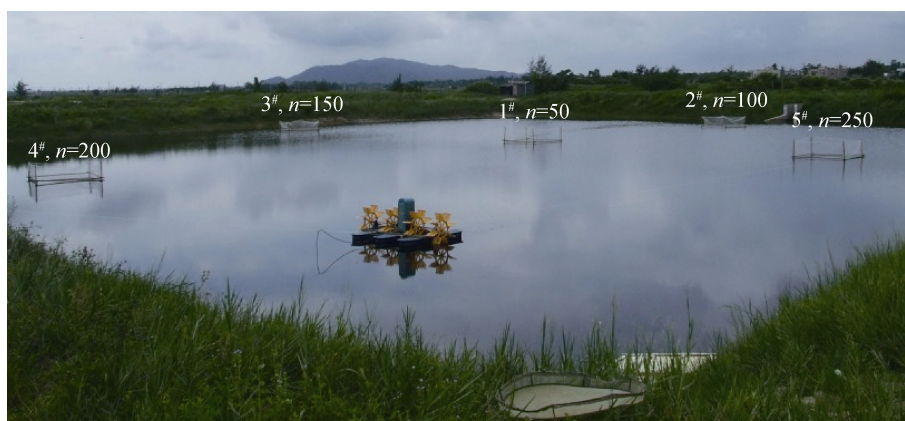


图1 实验池塘中网箱的设置

Fig.1 Setting of fish cages in the experimental ponds

并对各池塘浮游植物优势种进行鉴定。

1.5 颗粒腐质与细菌量

由上述总悬浮颗粒有机物减去浮游植物及浮游动物生物量得出颗粒腐质与细菌生物量。

1.6 数据的统计分析

采用 Excel 和 SPSS13.0 软件对数据进行统计分析, 数值用平均数 ± 标准误差表示, 先对数据作单因素方差分(ANOVA), 处理若有显著差异, 再作 Duncan’s 多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 实验期间的天气及养殖情况

从表 1 中可以看出实验期间天气的变化情况以及养殖情况, 406、407、408 三口池塘分别在 9 月 17 日、10 月 1 日、10 月 11 日陆续出现了死虾情况。

表 1 实验期间的天气及养殖情况		
Tab.1 Weather and cultivation circs during the experiment		
日期(月-日)	天气	养殖情况
Date(month-date)	weather	cultivation status
09-05	白天阴天晚上下雨	正常
09-06	晴, 30-33	407 池水变清
09-08~13	阵雨, 13 号有大风	正常
09-14~16	晴, 29-32	正常
09-17	晴, 29-32	406 池出现死虾
09-18	晴, 29-32	406 池停料
09-21~24	台风“ 凡亚比 ” 登陆, 暴雨	减料投喂
09-25~30	晴, 30-32	正常
10-01	晴, 30-32	407 池死虾
10-02	晴, 30-32	407 池停料
10-4~10	阴天大风, 21-25	408 池正常
10-11	阴天, 雨, 小风	408 池死虾
10-12	阴天	408 池停料

2.2 实验期间池塘水温、盐度、pH、透明度的变化情况

从图 2-图 5 可见, 调查期间虾池水温为 20~32 , pH 值为 7.6~10.2, 盐度为 8~14, 透明度为 15~60 cm 之间。

2.3 池塘 TPM 的动态变化

2.3.1 TPM 和 POM 从图 6-图 8 可见, 3 口实验池塘的 TPM 质量浓度为(83.1±34.1) mg/L, 变化

于 35.0~153.8 mg/L 之间, 最高值出现在 10 月 8 日的 406 池塘, 为 153.8 mg/L; 最低值出现在 9 月 18 日的 408 池塘, 为 35.0 mg/L; 颗粒有机物含量为 (48.9 ± 29.4) mg/L, 变化于 19.0~111.0 mg/L

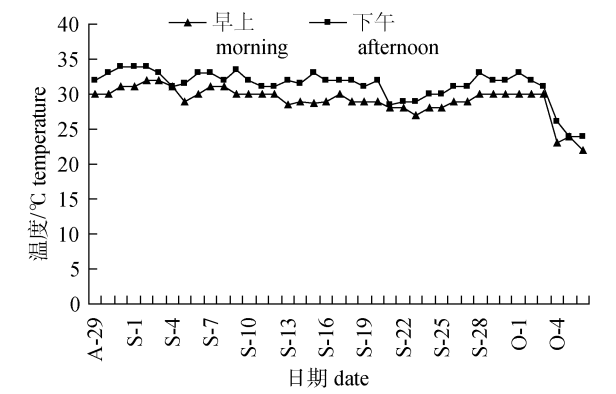


图 2 养殖期间 3 口池塘水温变化情况
Fig.2 Variations of water temperature in 3 experimental ponds

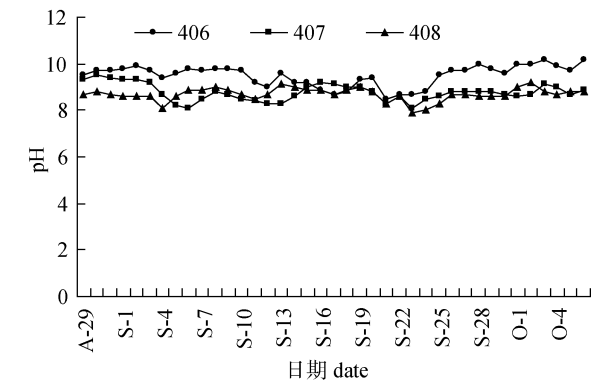


图 3 养殖期间池塘 406、407 和 408 中水质 pH 的变化
Fig.3 Variations of pH in experimental ponds 406,407 and 408

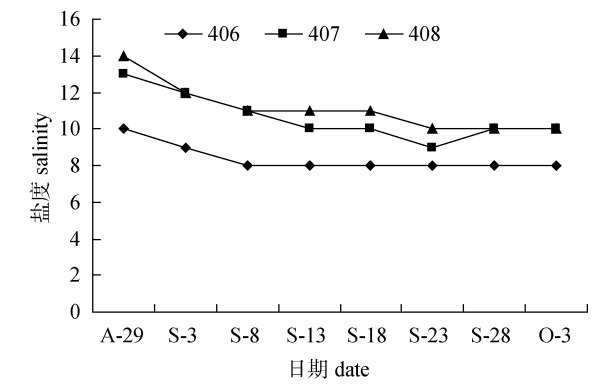


图 4 养殖期间池塘 406、407 和 408 中水质盐度的变化
Fig.4 Variations of salinities in experimental ponds 406,407 and 408

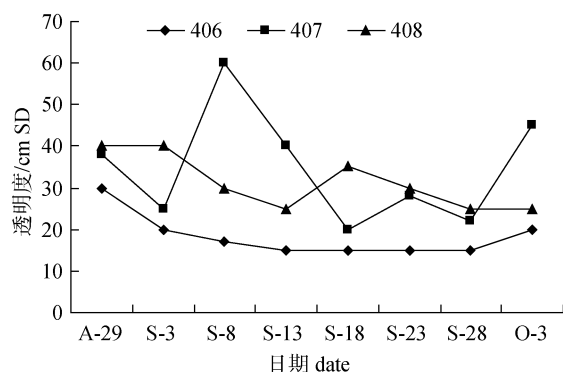


图 5 养殖期间池塘 406、407 和 408 中水质透明度的变化
Fig.5 Variations of SD in experimental ponds 406, 407 and 408

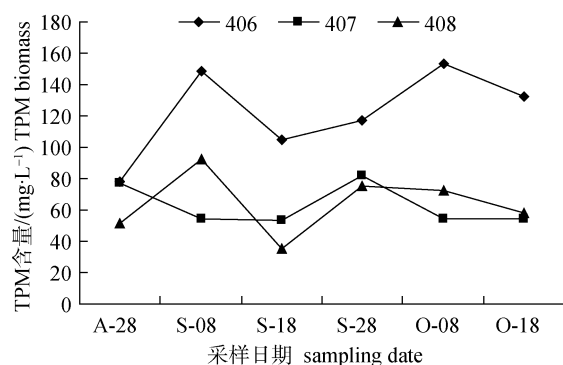


图 6 养殖期间池塘 406、407 和 408 中 TPM 含量的动态变化
Fig. 6 Dynamic variations of TPM in experimental ponds 406, 407 and 408

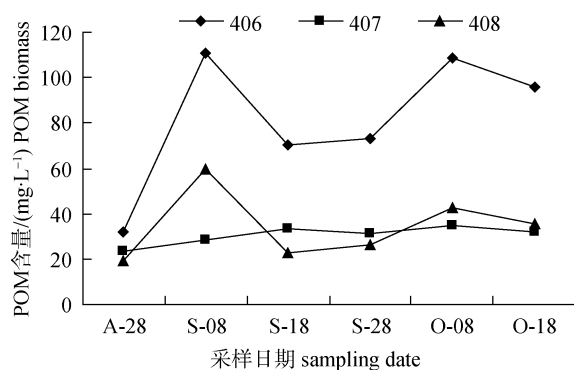


图 7 养殖期间池塘 406、407 和 408 中 POM 含量的动态变化
Fig. 7 Dynamic variations of POM in experimental ponds 406, 407 and 408

之间; POM 含量为 (34.3 ± 11.8) mg/L, 变化于 19.0~54.0 mg/L 之间, 占 TPM 的 41.28%。通过相关性检测, 水层 TPM 含量与 POM 含量($r=0.9419$,

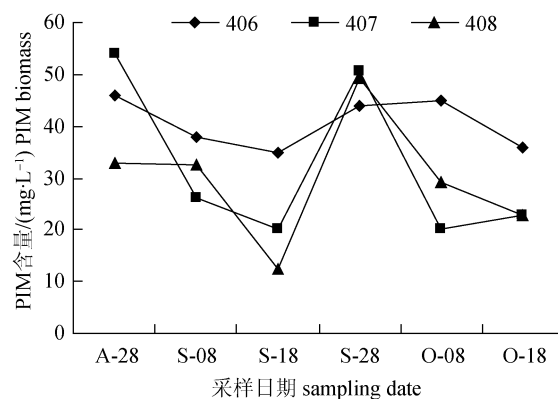


图 8 养殖期间池塘 406、407 和 408 中 PIM 含量的动态变化
Fig. 8 Dynamic variations of PIM in experimental ponds

$n=18$)呈显著相关性。

2.3.2 浮游生物量 从图 9~图 11 可见, 实验期间 3 口池塘浮游生物总干重波动在 2.43~22.477 mg/L 之间, 平均值为 (9.631 ± 5.911) mg/L; 其中浮游植物干重、浮游动物干重分别波动在 2.298~22.105 mg/L 及 0.018~2.724 mg/L 之间, 平均值分别为 (8.987 ± 5.983) mg/L 及 (0.645 ± 0.607) mg/L, 占浮游生物总干重的 93.31%及 6.69%。浮游生物总量 406 池最高, 407 池最低; 浮游动物 407 池较 408 池丰富。

2.3.3 浮游植物优势种及生物量优势度 从表 2 可以看出, 实验期间 3 口池塘浮游植物的优势种和优势度各不相同, 其中 406 池一直以微囊藻为优势种, 生物量优势度波动在 0.393~0.943 之间。

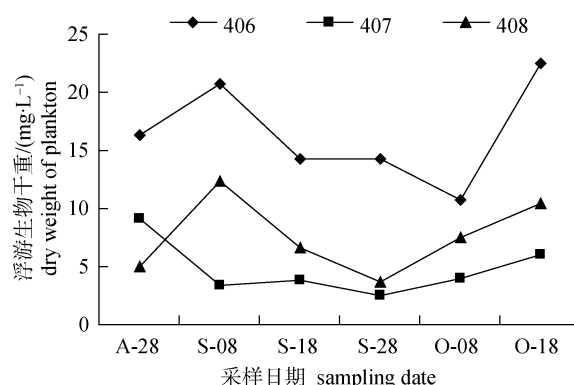


图 9 养殖期间池塘 406、407 和 408 中浮游生物干重
Fig. 9 Dry weight of plankton in experimental ponds 406, 407 and 408

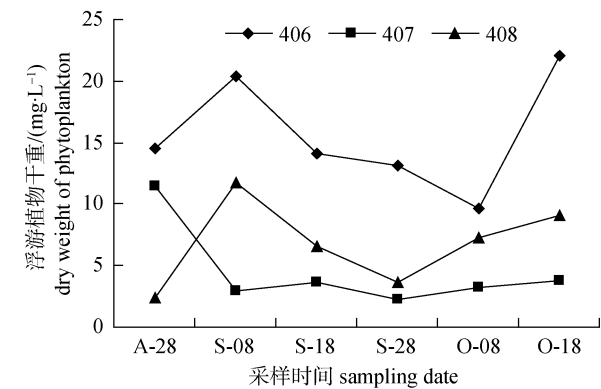


图 10 养殖期间池塘 406、407 和 408 中浮游植物干重
Fig. 10 Dry weight of phytoplankton in experimental ponds 406, 407 and 408

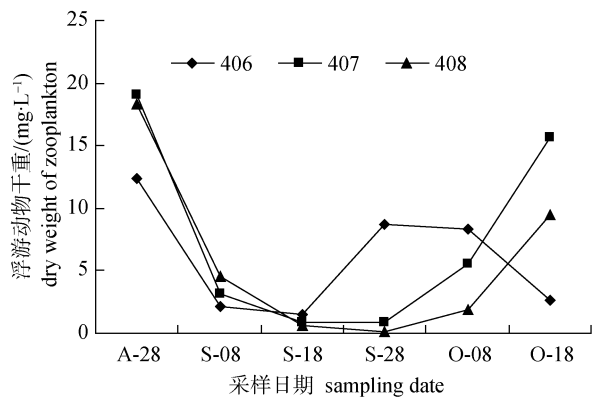


图 11 养殖期间池塘 406、407 和 408 中浮游动物干重
Fig. 11 Dry weight of zooplankton in experimental ponds 406, 407 and 408

表 2 406、407 和 408 池塘浮游植物优势种和优势度的变化
Tab.2 Dominant species and dominance (*I*) of phytoplankton in experimental ponds 406, 407 and 408

日期 (月-日) Date (mon. -date)	406		407		408	
	种名	优势度	种名	优势度	种名	优势度
	species	<i>I</i>	species	<i>I</i>	species	<i>I</i>
08-28	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.943	淡绿肾片藻 <i>Nephroselmis olivacea</i>	0.975	细小卵囊藻 <i>Oocystis pusilla</i>	0.575
09-08	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.908	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> sp.	0.673	细小卵囊藻 <i>Oocystis pusilla</i>	0.882
09-18	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.869	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>	0.469	不定微囊 <i>Microcystis incerta</i>	0.645
09-28	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.763	不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>	0.44	极小集胞藻 <i>Synechococcus minuscula</i>	0.307
10-08	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.777	圆胞束球藻 <i>Gomphosphaeria aponina</i>	0.466	单针藻 <i>Monoraphidium</i> sp.	0.323
10-18	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.888	不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>	0.491	锥状斯克里普藻 <i>Scrippsiella trochoidea</i>	0.443

而 407 池和 408 池的优势种在养殖期间一直在变动, 其生物量优势度分别波动在 0.440~0.975 及 0.307~0.882 之间。采样后期, 406 和 407 池都以微囊藻为优势种, 408 池以甲藻为优势种。

2.3.4 颗粒腐质及细菌 从图 12 可见, 调查期间 3 口实验池塘颗粒腐质及细菌量波动在 14.339~97.958 mg/L 之间, 平均为 (38.966±25.530) mg/L, 占水层悬浮颗粒有机物的 81.7%。其中 406 池比 407 和 408 池高。

2.4 各池塘罗非鱼的存活与生长情况

实验期间, 方差分析结果表明, 407 池与 406 和 408 池罗非鱼的增重率和特定生长率差异均显著($P<0.05$), 406 池与 408 池差异不显著(表 3)。不

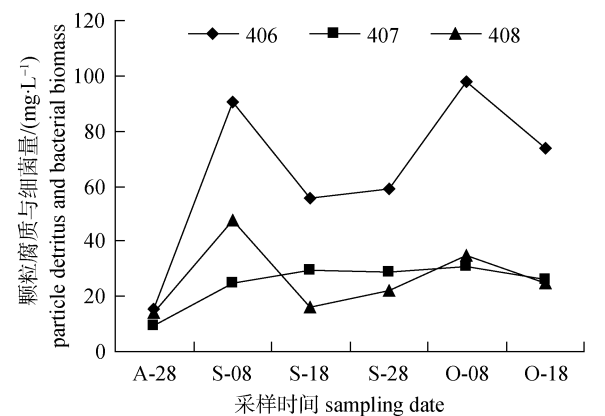


图 12 养殖期间池塘 406、407 和 408 中颗粒腐质及细菌量
Fig.12 Concentrations of particle detritus and bacterial in experimental ponds 406, 407 and 408

表 3 罗非鱼的增重率、特定生长率和存活率
Tab.3 Weight gain rate , specific growth rate and survival rate of tilapia

池塘编号 pond number	网箱编号 cage number	初始体质量/g initial body weight	收获体质量/g final body weight	增重率/% weight gain rate	特定生长率/(%·d ⁻¹) specific growth rate	存活率/% survival rate
406	1	80.00	182.60	128.25	2.00	100
	2	68.00	196.26	188.62	2.60	100
	3	61.30	158.14	157.98	2.30	100
	4	65.00	191.40	194.46	2.60	100
	5	68.00	164.86	142.44	2.20	99.20
	$\bar{x} \pm SD$	68.50±4.90	178.65±21.35	162.35±37.19 ^a	2.30±0.34 ^a	99.80±0.60
407	1	62.00	210.22	239.06	2.9	100
	2	66.00	195.16	195.70	2.6	100
	3	64.60	221.61	243.05	3.0	99.30
	4	66.00	208.21	215.47	2.8	99.00
	5	66.00	240.53	264.44	3.2	98.40
	$\bar{x} \pm SD$	64.90±1.74	215.15±17.01	231.54±26.52 ^b	2.90±0.22 ^b	99.30±0.68
408	1	68.0	189.00	177.94	2.50	100
	2	74.0	197.63	167.07	1.90	100
	3	71.3	199.75	180.15	2.50	98.70
	4	68.5	226.38	230.48	2.90	98.50
	5	72.0	207.00	187.50	2.60	98.40
	$\bar{x} \pm SD$	70.8±2.5	203.95±14.08	188.63±24.51 ^a	2.50±0.36 ^a	99.10±0.81

注: 同列标注不同字母的两项间差异显著($P<0.05$).
Note: The two items with different letters in the same column are significantly different ($P<0.05$).

同网箱之间罗非鱼的增重率和特定生长率差异不显著。期间 406 池的平均成活率最高 99.8%, 3 口池塘罗非鱼的存活率没有显著性差异。

3 讨论

3.1 养殖期间池塘 TPM 含量的动态变化

在整个养殖过程中, 池塘 TPM 含量变化由低到高依次为养殖前期、养殖中期、养殖后期、养殖末期, 但在实际养殖中由于受到外界环境因子和人为因子的影响, TPM 的含量呈现一个动态变化的过程。

养殖实验前期, 3 口池塘 POM 含量均较低, 其主要原因是水体中颗粒腐质与细菌的含量少, 有研究报道鱼池颗粒腐质及细菌量占颗粒有机物的比例为 59.55 %^[7], 虾池为 98 %^[8], 本实验为 81.7%, 表明水体中颗粒腐质及细菌量对颗粒有机物的动态变化有较大影响。

养殖实验中期, 406 池与 408 池 TPM 含量呈现高—低—低—高的动态变化, 这主要是由于外界

环境因子的变化引起的。第 2 次和第 5 次采样期间风力比较大, 风力的作用, 使底质大量再悬浮, 导致水体中颗粒腐质与细菌量大量增多, 从而引起水体 POM 含量的增多; 第 3 次和第 4 次采样 POM 含量较低, 其原因是台风、暴雨的出现使浮游动植物的生长繁殖速率下降, 生物量减少, 以及饵料的停止投喂、养殖对象排泄物的减少导致 POM 含量的减少。实验中发现 407 池 POM 含量的变化情况与 406、408 两口池塘都不同, 其呈现一个缓慢增加的过程, 含量比较稳定, 这可能是 407 池水体生态系统比较稳定, 抗外界干扰的能力比较强。

养殖实验后期, 3 口池塘 POM 含量均呈减少的趋势, 其主要因为虾病停止了饵料的投喂, 同时减少了因虾活动引起的底质再悬浮量, 以及池塘浮游微藻生长占优势抑制了细菌的生长^[9], 从而使水体中 POM 的现存量较少。

3.2 池塘 TPM 动态与环境因子的关系

池塘 TPM 的动态变化与环境因子之间有着

密切关系,环境因子通过直接影响水体中 POM、浮游动植物、颗粒腐质与细菌等的含量来影响 TPM 的总含量,其中环境因子主要有风力、温度、盐度、pH 等。风力是引起水中悬浮物浓度增加的主要因素,悬浮物浓度与风速的变化趋势大致相近,随着风速的增加,风力增强、水体波浪尺度增大,它不但能够阻止原来水体中悬浮颗粒的沉降,而且可以在风浪、水流等动力作用下使底泥发生再悬浮,增加水体中悬浮颗粒物浓度^[10]。有研究发现浮游植物密度在风速小于 4 m/s 时随风速增大而升高,在风速大于 4 m/s 时随风速增大却有所降低^[11]。

温度直接影响藻类的生长和繁殖,如果水温范围有利于浮游植物的生长,则水温每上升 10℃,细胞分裂速度一般可增加 1~3 倍^[12],当水温超过藻类生长的最适温度以后,就会引起藻类迅速死亡^[13]。有研究发现,温度对浮游动物的丰度也有影响,其丰度在水温较低时高于水温较高时^[14]。

盐度是影响水生生物原生质渗透压的一个重要因素,生活在水中的浮游生物对环境的盐度变化均有其一定的适应范围和最适范围。高盐度有利于硅藻的生长繁殖,低盐度有利于蓝藻的生长^[15]。有研究发现湖水含盐量越低,藻类年平均生物量越大,盐度高于 300 μg/L 时,其藻类生长明显受到抑制^[16]。而浮游动物的总丰度和盐度变化呈正相关关系,盐度较高的水域往往有较高的丰度^[14]。

水体 pH 值与藻类生长关系密切。有研究发现,在 pH 7.75~8.75 区间内,最适合浮游植物繁殖,生物量最大,低于或高于这个区间,浮游植物繁殖速率明显减少,生物量随 pH 值的降低或升高而降低^[17]。不同的浮游微藻适宜生长繁殖的 pH 范围各不相同,蓝藻适应生长的 pH 范围高于其他藻类^[18]。本实验也发现,蓝藻在较高的 pH 环境中同样有着较高的生物量,以微囊藻为优势种的 406 池,在整个养殖过程中 pH 均较高,平均为 9.5,其浮游植物生物量较其他两口池塘高。

3.3 颗粒有机物与吉丽罗非鱼生长的关系

悬浮颗粒有机物主要由水域内部化学过程和生物过程所产生,其主要组成部分浮游生物及颗

粒腐质是滤食性鱼类的主要饵料,不同组成形式的颗粒有机物对鱼类的生长、免疫以及存活有着不同的效果。

从实验结果可以看出浮游植物的种类组成和数量对罗非鱼的生长有着重要的影响,406、408 池的浮游植物生物量比 407 池高,但 407 池罗非鱼的增重率却显著高于 406 与 408 池。407 池显著高于 408 池的主要原因是 408 池在养殖期间一直以微囊藻为优势种,大量的微囊藻对罗非鱼的生长产生了严重的影响,罗非鱼能够分解、消化一部分微囊藻,再加上微囊藻能释放毒素^[19],鱼类在摄食微囊藻毒素后可在消化道、肝脏、肌肉等组织器官中快速积累^[20],降低生长率^[21]。407 池罗非鱼的增重率显著高于 408 池的主要原因是,在实验过程中发现 408 池氨氮的平均浓度是 407 池的 2.6 倍,平均浓度为 0.029 6 mg/L,据有关资料统计,鱼类能长期忍受的分子氮最大限度为 0.025 mg/L,高浓度的氨氮是导致罗非鱼生长不良的主要原因,水体中浓度过高的氨对鱼体内酶的催化作用和细胞膜的稳定性产生严重影响,并能破坏排泄系统和渗透平衡^[22],损害鳃组织以及鱼类其他组织细胞,抑制鱼类的生长,降低免疫力以致引起死亡^[23]。

浮游动物在食物链中占着重要位置,它是肉食性动物的摄食对象,为初级生产者与三级生产者或终级生产者之间的能量转换者^[24]。罗非鱼滤食浮游动物,浮游动物的丰度对其生长存活有着一定的影响。谷孝鸿^[25]在研究中发现,在一定范围内渔获量越高相应地浮游动物现存量也越高。颗粒腐质主要包括死亡浮游生物、残饵及鱼类粪便,它构成滤食性鱼类饵料的重要部分。王友亮^[26]等在对青鱼高产池塘的研究中发现有机碎屑的产鱼能力占池塘总产鱼能力的四分之一。

4 结论

(1) 对虾-罗非鱼网箱混养池中 POM 现存量在整个养殖过程中变化较大,容易受外界环境因子和人为因素的影响。在养殖过程中水质的调控非常重要,一旦发现蓝藻特别是微囊藻、颤藻等

有害微藻不能任其发展,要及时处理,不然会导致严重的损失。

(2)不投饵与投饵网箱混养罗非鱼的生长速率没有显著差异,其中不投饵方式既可以减少水中悬浮颗粒物改善养殖环境,又容易捕捞,可以提高对虾养殖池塘的经济效益,是一种值得推广的新模式。

参考文献:

- [1] 池宝兴. 南美白对虾与草鱼、罗非鱼套养技术[J]. 海洋与渔业, 2010, 11: 43–45.
- [2] 王吉桥, 罗鸣, 马成学, 等. 低盐水体南美白对虾与鲢鳙鱼混养的试验[J]. 水产科学, 2003, 22(6): 21–24.
- [3] Tendencia E A. Polyculture of green mussels, brown mussels and oysters with shrimp control luminous bacterial disease in a simulated culture system [J]. Aquaculture, 2007, 272: 188–191.
- [4] 匡世焕, 方建光, 孙慧玲, 等. 桑沟湾海水中悬浮颗粒物的动态变化[J]. 海洋水产研究, 1998, 17(2): 60–67.
- [5] 梁兴明, 方建光, 崔毅, 等. 莱州湾海湾扇贝养殖区海水中悬浮颗粒的动态变化[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 635–640.
- [6] 何志辉. 吉林镇赉养鱼场鱼池生态系统分析[J]. 水产学报, 1993, 17(1): 24–35.
- [7] 郭赣林, 赵文. 淡水鱼池生态系统的悬浮物结构及有机碳库储量[J]. 大连水产学院学报. 2006, 21(2): 127–130.
- [8] 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.
- [9] 李卓佳, 李奕雯, 曹煜成, 文国樑. 对虾养殖环境中浮游微藻、细菌及水质的关系[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 25(4): 28–29.
- [10] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体中悬浮物研究[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 266–271.
- [11] 孙小静, 秦伯强, 朱广伟, 等. 风浪对太湖水体中胶体态营养盐和浮游植物的影响[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 506–511.
- [12] FOGG G E. Algal Cultures and Phytoplankton Ecology [M]. Madison: Univ of Wisconsin Press, 1965.
- [13] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1990.
- [14] GAO Qian, XU Zhaoli, ZHUANG Ping. The relation between distribution of zooplankton and salinity in the Changjiang Estuary [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2008, 26(2): 178–185.
- [15] 谢立民, 林小涛, 许忠能, 等. 不同类型虾池的理化因子及浮游植物群落的调查[J]. 生态科学, 2003, 22 (1): 34–37.
- [16] 胡章立, 沈银武, 刘永定. 湖水含盐量和 Cu^{2+} 浓度变化对 Kinneret 湖浮游植物的影响[J]. 水生生物学报, 2003, 27(1): 31–35.
- [17] 马国红, 杜兴华, 段登选, 等. 盐碱地鱼池浮游植物与 pH、总碱度、总硬度、含盐量的关系[J]. 齐鲁渔业, 2001, 18(5): 36–38.
- [18] 李玉和, 钟贻诚. 铜绿微囊藻饲养尼罗罗非鱼试验[J]. 淡水渔业, 1992 (4): 34–35.
- [19] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. PH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 294–298.
- [20] 隗黎丽. 微囊藻毒素对鱼类的毒性效应[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3304–3310.
- [21] Bury N R, Eddy F B, Codd G A. The effects of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, the cyanobacterial hepatotoxin MC-LR, and ammonia on growth rate and ionic regulation of brown trout [J]. J Fish Biol, 1995, 46(6): 1042–1054.
- [22] 王彦波, 许梓荣, 邓岳松. 水产养殖中氨氮和亚硝酸盐氮的危害及治理[J]. 饲料工业, 2002, 23(12): 46–48.
- [23] 章晨静. 浅谈氨氮对养殖水体的影响[J]. 河北渔业, 2002(3): 49.
- [24] 洪惠馨, 胡晴波, 吴玉清, 等. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1981.
- [25] 谷孝鸿. 渍涝洼地不同类型高产鱼池的浮游动物[J]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 369–373.
- [26] 王友亮, 姚宏禄, 吴乃薇, 等. 主养青鱼高产池塘的浮游植物和有机碎屑[J]. 水产学报, 1994, 18(4): 297–304.

Effect of total particular matter on growth and survival of tilapia in shrimp-tilapia cage poly-culture ponds

SU Li^{1,2}, ZHU Changbo¹, ZHANG Hanhua¹, LI Zhuojia¹, YU Zhaolong³

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Dianbai Guanlida Scientific and Biological Aquaculture Company, Maoming 525435, China

Abstract: JI Tilapia is a new hybrid and salt tolerant species developed for culture and published in the 1 339th announcement of Agriculture Ministry of China in February 2010. We investigated the dynamics of total particular matter (TPM) and particular organic matter (POM) in 3 shrimp-tilapia poly-culture ponds (406, 407, and 408) in Dianbai, Maoming City, Guangdong province between August and October, 2010. In addition, we evaluated the effects of POM on the growth and survival of tilapia. The concentration of TPM ranged between 35.0 and 153.8 mg/L, (83.1 ± 34.1) mg/L. The concentration of particular inorganic matter (PIM) ranged between 19.0 and 54.0 mg/L, (34.3 ± 11.8) mg/L, and constituted 41.28% of TPM. The dry weight of plankton (PZ) ranged between 2.43 and 22.48 mg/L, (9.63 ± 5.91) mg/L, and constituted 11.59% of TPM. The dry weight of phytoplankton (DWP) ranged from 2.298 to 22.105 mg/L, (8.99 ± 5.98) mg/L, and constituted 10.81% of TPM. The dry weight of zooplankton (DWZ) ranged from 0.018 to 2.724 mg/L, (0.65 ± 0.61) mg/L, and constituted 0.78% of TPM. Particular debris and bacteria ranged from 14.339 to 97.958 mg/L, (38.97 ± 25.53) mg/L, and accounted for 81.77% of POM. The average rates of weight gain and specific growth were significantly higher in tilapia cultivated in the cages within Pond 407 than in the other two ponds. However, there were no significant differences in tilapia survival among the three ponds.

Key words: tilapia; total particular matter; particular organic matter; weight gain; pond cage

Corresponding author: ZHANG Hanhua. E-mail: zhh502@163.net