

文章编号: 1674-5566(2013)05-0698-08

混养罗非鱼对凡纳滨对虾养殖围隔水质因子及浮游植物群落结构的影响

粟 丽, 朱长波, 陈素文

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

摘 要: 为了探索混养罗非鱼对对虾养殖水体水质因子及浮游植物群落结构的影响, 于2011年6-8月在对虾养殖场选取一口池塘, 设置24个围隔进行凡纳滨对虾与吉丽罗非鱼混养实验。实验分为6组(A、B、C、D、E、F组), F组为对照组不放养罗非鱼。对养殖水体相关水质理化因子和浮游植物群落结构进行跟踪调查, 结果显示: (1) 养殖期间DO含量各组之间无显著性差异; 各组围隔亚硝氮和氨氮的含量养殖前期接近, 养殖后期则有较大差异, 其中实验C、D组显著低于A、B、E组和对照F组($P < 0.05$); COD和TOC含量对照组均小于实验组, 实验组中养殖后期A、B组含量大于C、D、E组; TN、TP的增加量为A组最高, F组最低, 实验组之间A、E组增加量高于B、C、D三组; (2) 围隔中共鉴定出浮游植物4门36种, 优势度较高, 优势种单一, 优势种基本上为小型种类; 叶绿素a含量为实验组高于对照组, 而实验组之间A、B组高于其它三组。结果表明虾池中混养适当密度的罗非鱼有利于改善水质, 调节浮游植物的种类及数量。

研究亮点: 如何有效地调控养殖水体水质成为对虾养殖成功的关键问题之一。本文采用池塘陆基围隔实验方法研究了虾池混养不同密度吉丽罗非鱼对养殖水体水质因子及浮游植物群落结构特征的影响, 以期对虾池水质调控及鱼虾混养模式的完善提供一定的理论基础和数据支撑。

关键词: 凡纳滨对虾; 吉丽罗非鱼; 水质因子; 浮游植物; 群落结构

中图分类号: S 965.125

文献标志码: A

随着凡纳滨对虾养殖的不断深入, 病菌的交叉感染与内源污染日益加剧, 尤其是对虾白斑病毒、桃拉病毒等病毒性病害肆虐, 严重制约了凡纳滨对虾养殖业的发展。为了促进凡纳滨对虾养殖业的可持续发展, 目前许多学者致力于健康养殖模式的探索, 开展了虾鱼、虾蟹、虾贝和虾藻的混养研究, 并且取得良好的社会、经济和生态效益。近年来关于虾鱼混养模式的研究较多, 如对虾与肉食性鱼类^[1]、滤食性鱼类^[2]以及杂食性鱼类^[3]混养, 其中同滤食性或杂食性鱼类混养, 鱼类可通过摄食直接影响浮游生物的种群密度, 也可通过排泄、释放, 加速水体营养盐的循环来促进浮游植物的生长^[4]。因此, 鱼类能够对水体

中的浮游生物群落结构以及理化环境产生重要影响^[5]。罗非鱼属于杂食性鱼类^[6], 研究发现罗非鱼滤食浮游植物的能力较强, 在富营养化水体中甚至直接影响蓝藻的生物量^[7], 从而降低浮游植物的密度, 提高水体透明度^[8]。而目前关于不同罗非鱼混养密度对虾池水质和浮游植物的影响鲜见报道, 为此, 笔者在广东省茂名市电白县进行了凡纳滨对虾-吉丽罗非鱼混养实验, 调查研究了一个完整养殖周期内虾池水质因子动态及浮游植物群落结构特征, 以期对构建虾池浮游植物调控方法及完善鱼虾混养模式提供一定的理论基础和数据支撑。

收稿日期: 2013-03-23 修回日期: 2013-05-28

基金项目: 十二五国家科技支撑计划项目(2011BAD13B03); 国家自然科学基金(30800851); 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, 硕士, 研究实习员, 研究方向为海水养殖生态。E-mail: suli@scsfri.ac.cn

通信作者: 朱长波, E-mail: changbo@ecowin.org

1 材料与方 法

1.1 池塘条件和围隔实验设计

实验池塘位于广东省茂名市电白县冠利达科技生物养殖有限公司(111°22'E,21°32'N),池塘面积为 0.36 hm²,虾池经过翻耕暴晒和严格消毒,养殖期间可保持水深约 1.60 m,盐度 18~20。

实验围隔的结构设计参照李德尚等^[9]池塘

陆基实验围隔设计方法。以双面涂塑高密度聚乙烯编织布为围幔,以青竹为支架,将围隔架设于上述池塘中,共设置 24 个围隔。每个围隔面积为 36 m²。围幔上部超出水面 0.5 m,下部埋入池底 0.5 m。围隔内均匀放置 16 个气石,用一台二叶型罗茨鼓风机对各围隔进行曝气增氧(图 1)。

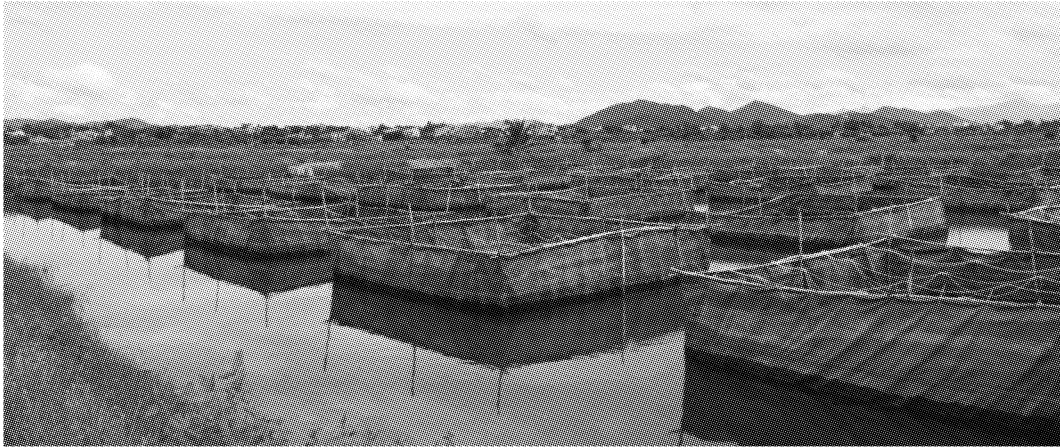


图 1 实验池塘中围隔的设置

Fig. 1 The setting of enclosures in the experimental ponds

实验分为 A、B、C、D、E 和 F 6 组,每组 4 个平行,其中 A~E 组为实验组,F 组为对照组。5 月 23 日至 6 月 4 日对池塘进行消毒、肥水,肥水后才将围隔拉起固定在青竹支架上,这样保证每个围隔初始水环境一样。6 月 10 日放虾苗,24 个围隔中,各围隔虾苗放养密度为 8.3×10^5 尾/hm²。7 月 8 日放养罗非鱼,A、B、C、D、E 5 组分别放养 4、8、12、18 和 24 尾/围隔。实验过程中,有部分围隔(A1、A3、B2、B4、C1、C4、D1、D3、E2、E4、F1 和 F4)内的对虾发病,数据统计时未记在内。

1.2 浮游植物样品的采集、处理与分析

2011 年 6—8 月,每隔 10 d 对虾池进行浮游植物样品采集与分析。采样时,每个围隔都用 2.5 L 采水器采集表、中、底层混合水样,取 1 L 倒入塑料瓶,加入 15 mL 鲁哥氏液固定,静置 24~48 h,测定时充分摇匀,准确吸取 0.1 mL 置于浮游植物计数框内,用 Olympus BH-2 型显微镜,在 10×40 倍下观察计数,对大型浮游植物在 10×20 倍下全片计数。浮游植物样品的定性分析参考《中国淡水藻类》^[10]鉴定其种类。

优势度分析采用 Mcnaughton 优势度指数:

$$Y = n_i / N \cdot f_i \quad (1)$$

式中: n_i 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数, f_i 为该种在该地区出现的频率。样品中个体数占总数 10% 以上为优势种,其中占 40% 以上为强优势种,1%~10% 内为常见种,1% 以下或者只在个别水样中出现的为稀有种^[11]。

1.3 叶绿素含量分析

将 GF/F 玻璃纤维滤膜(0.7 μm 孔径)在 0.4 Pa 下抽滤适量水样,90% 丙酮抽提,在冰箱贮存室中置放 16 h,然后用 UV-1800 型紫外可见分光光度计分别在 750、664、647 和 630 nm 处比色。计算公式参照赵文等^[12]的方法:

$$\rho_{\text{Chl. a}} = (11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630}) V_0 / V \times L \quad (2)$$

式中: $\rho_{\text{Chl. a}}$ 为样品中叶绿素 a 含量(μg/L); V_0 为样品提取液体积(mL); V 为海水样品实际用量(L); L 为测定池光程(cm)。

1.4 相关理化因子测定

总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₃-N)、亚硝

氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、化学需氧量(COD)和总有机碳(TOC)等水质理化指标的测定方法均依照《海洋检测规范》^[13],pH用PHB-1型便携式pH计测定,盐度测定采用WYY-II便携式折射盐度计,温度和溶氧(DO)的测定用Orion 810便携式溶氧仪。

1.5 数据的统计分析

采用Excel和SPSS 13.0软件对数据进行统计分析,数值用平均数 \pm 标准误差表示,先对数据作单因素方差分析(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 围隔养殖水体中主要理化因子动态变化情况

2.1.1 溶解氧变化

从表1可以看出,下午溶解氧高于上午,养殖前期高于养殖后期。养殖前期水体溶氧可高达10 mg/L,养殖后期水体溶氧基本维持在5 mg/L左右。在整个养殖期间,实验组和对照组之间溶解氧含量接近,养殖期间有较大波动。

表1 各组围隔溶氧平均含量变化

日期	A		B		C		D		E		F	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
6.16	5.10	7.70	5.30	8.80	5.70	9.75	6.20	9.90	5.50	8.75	5.70	7.55
6.20	3.65	6.30	3.35	6.15	4.00	7.25	4.15	5.10	3.70	5.10	4.50	5.45
6.24	4.90	6.30	4.95	5.10	4.50	7.45	3.90	5.00	4.35	6.70	3.90	5.45
6.28	3.05	3.70	3.20	3.85	3.30	3.30	3.65	4.65	2.95	3.45	3.10	3.50
7.2	4.65	7.00	4.80	7.20	5.05	5.90	4.95	5.85	4.35	6.15	5.30	6.25
7.6	4.40	6.60	4.75	5.75	4.90	6.80	4.45	6.50	4.45	6.10	4.95	5.50
7.10	3.80	6.05	4.25	6.10	4.70	5.60	4.30	5.15	4.55	6.50	4.75	5.05
7.14	4.75	6.40	4.30	5.10	4.85	5.35	4.05	4.45	4.90	5.20	4.75	5.20
7.18	4.85	5.35	5.40	5.35	5.25	5.45	4.55	6.35	5.50	5.55	3.50	4.45
7.22	4.75	5.55	4.55	4.70	4.60	4.90	3.70	5.95	4.35	4.45	4.85	5.50
7.26	4.65	4.90	3.90	4.00	3.40	4.75	3.60	4.40	4.30	4.00	3.65	5.35
7.30	4.95	5.45	4.50	4.75	4.70	4.90	4.70	5.95	4.80	4.95	5.30	5.85
8.3	4.15	5.10	3.35	4.10	4.40	4.45	3.75	5.35	3.75	4.50	4.90	5.55
8.7	3.75	4.70	3.40	5.30	3.00	4.00	3.40	4.05	3.05	4.00	4.65	5.10
8.11	4.00	4.10	3.85	4.10	3.75	3.60	3.60	3.90	3.85	3.20	4.65	5.35

2.1.2 亚硝氮浓度和氨氮浓度含量变化

从图2、3可以看出,在整个养殖期间各组围隔养殖水体中亚硝氮和氨氮浓度呈升高的趋势,养殖前期水体中氨氮和亚硝氮的含量均接近,养殖后期各组围隔之间则有较大差异。氨氮和亚硝氮浓度总体分别波动在0.001~0.286 mg/L和0.010~0.799 mg/L之间,均值分别为 (0.092 ± 0.071) mg/L和 (0.378 ± 0.293) mg/L。其中C、D组氨氮和亚硝氮浓度变化较小,氨氮和亚硝氮浓度分别波动在0.001~0.110 mg/L和0.03~0.61 mg/L之间,均值分别为 (0.058 ± 0.037) mg/L和 (0.334 ± 0.174) mg/L。在整个养殖过程中,C、D组氨氮和亚硝氮浓度均显著小于A、B、E和F组($P < 0.05$)。

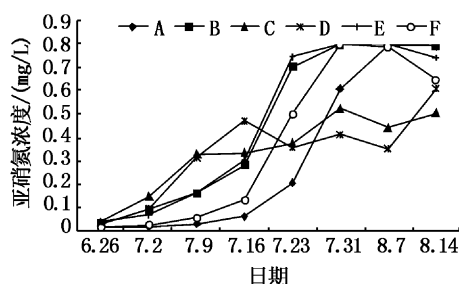


图2 各组围隔养殖水体亚硝氮平均浓度变化
Fig. 2 Dynamic variations of average nitrite concentration in experimental enclosures

2.1.3 COD、TOC变化情况

从图4、5可以看出,在整个养殖期间,各组围隔COD和TOC的含量都呈递增的变化趋势。

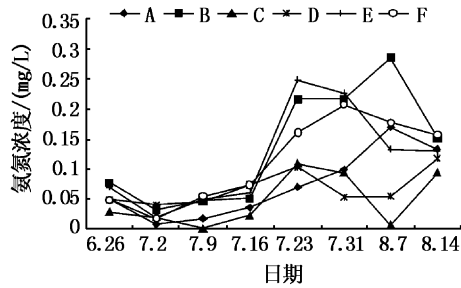


图3 各组围隔养殖水体氨氮平均浓度变化
Fig. 3 Dynamic variations of average ammonia concentration in experimental enclosures

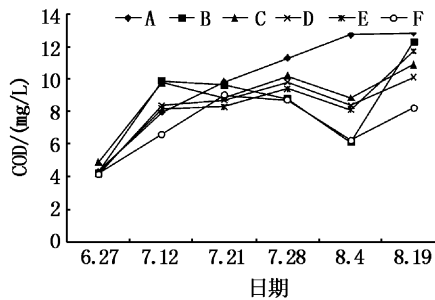


图4 各组围隔养殖水体 COD 平均值变化
Fig. 4 Dynamic variations of average COD in experimental enclosures

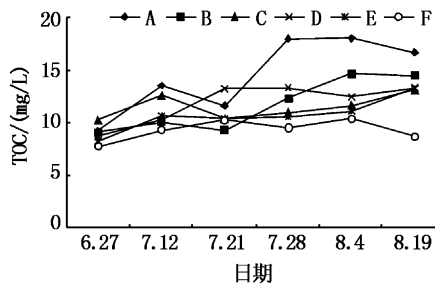


图5 各组围隔养殖水体 TOC 平均含量变化
Fig. 5 Dynamic variations of average TOC in experimental enclosures

COD 含量波动在 4.23 ~ 12.8 mg/L 之间,均值为 (8.49 ± 2.45) mg/L; TOC 含量波动在 7.71 ~ 18.0 之间,均值为 (11.55 ± 2.56) mg/L。其中对照组 COD 和 TOC 含量小于实验组,而实验组中,养殖后期 A、B 组含量大于 C、D、E 组, C、D、E 组含量变化也相对较平缓。

2.1.4 各组围隔 TN、TP 的增加量

从图 6 可以看出,在养殖期间 TN、TP 的增加量为 A 组最高,分别为 8.96 mg/L 和 0.79 mg/L, F 对照组最低,分别为 1.28 mg/L 和 0.18 mg/L。

整体上实验组 TN、TP 的增加量高于对照组,在实验组之间罗非鱼混养密度最低的 A 组与最高的 E 组 TN、TP 的增加量高于 B、C、D 三组。F 组的值最低,可能是 F 组对虾成活率最低,投入的饵料等营养物质少,内源污染小的原因。

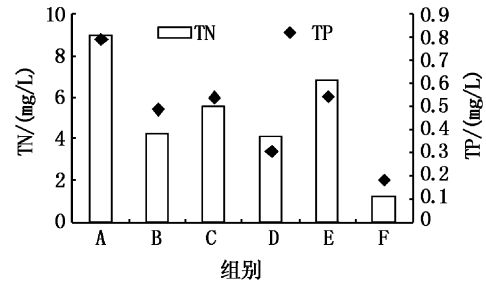


图6 各组围隔养殖水体 TN、TP 的增加量
Fig. 6 The increasing concentration of TN and TP in experimental enclosures

2.2 围隔浮游植物群落结构

围隔养殖水体中共鉴定出浮游植物 4 门 36 种,在养殖期间优势度较高,优势种单一,优势种多为细胞粒径较小的种类,蓝藻类多为优势种和常见种,绿藻和硅藻类有少数为优势种和常见种,甲藻类只出现了一种常见种(表 2)。

2.3 各围隔浮游植物优势种的动态变化

从图 7 可以看出,在整个养殖期间,优势度指数呈现一个动态变化的过程,对照 F 组优势度在养殖后期基本上高于实验组,优势种突出,实验组优势度指数在养殖后期普遍减小。各围隔基本上以蓝藻门的隐球藻、色球藻和颤藻为优势种,并且百分比含量均较高,变化范围在 34% ~ 98% 之间,优势种基本上为小型种类。养殖中后期,有些围隔出现了以绿藻门的小球藻和硅藻门的小环藻、茧形藻为优势种。

2.4 各组围隔叶绿素 a 平均含量变化情况

从图 8 可以看出,在养殖过程中各组围隔叶绿素 a 含量呈现一个动态变化的过程,波动在 0.38 ~ 30.78 $\mu\text{g/L}$ 之间,平均为 (8.81 ± 7.84) $\mu\text{g/L}$ 。整体上来说,对照 F 组含量波动最小,波动在 0.38 ~ 4.98 $\mu\text{g/L}$ 之间,平均为 (2.05 ± 1.77) $\mu\text{g/L}$;实验 A 组波动最大,波动在 3.79 ~ 30.78 $\mu\text{g/L}$ 之间,平均为 (18.56 ± 8.58) $\mu\text{g/L}$;其次为 C、D 组,波动在 0.55 ~ 18.19 $\mu\text{g/L}$ 之间,平均分别为 (8.61 ± 8.36) $\mu\text{g/L}$ 和 (9.70 ± 3.79) $\mu\text{g/L}$ 。

表 2 实验围隔浮游植物种类组成
Tab.2 Composition of phytoplankton species in experimental enclosures

种类	丰富度	粒径/ μm	种类	丰富度	粒径/ μm
蓝藻门 Cyanophyta			波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	++	a:10~30;b:9~15
绿色颤藻 <i>Oscillatoria chlorina</i>	+++	a:3.7~8;b:2.5~4	细小卵囊藻 <i>Oocystis pusilla</i>	++	a:6~20;b:4~10
颗粒颤藻 <i>Oscillatoria granulata</i>	+++	b:3.4~3.8	集球藻 <i>Palmellococcus miniatus</i>	++	d:3~12
细长聚球藻 <i>Synechococcus elongatus</i>	+++	a:1.8~2.1;b:0.7~1.1	蹄形藻 <i>Kirchneriell</i> sp.	+	a:6~13;b:3~8
细小隐球藻 <i>Aphanocapsa elachista</i>	+++	d:1.5~2	网球藻 <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	+	d:10~20
内生色球藻 <i>Chroococcus endophytica</i>	+++	d:2.5~3	球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>	+	d:5~10
微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>	+++	d:3~10	硅藻门 Bacillariophyta		
蛇形颤藻 <i>Oscillatoria anguina</i>	++	a:1.5~2.5;b:6~8	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	+++	d:5~35
不定腔球藻 <i>Coelosphaerium dubium</i>	++	d:5~7	茧形藻 <i>Amphiprora</i> sp.	+++	a:60~160;b:36~60
膨胀色球藻 <i>Chroococcus turgidus</i>	++	d:11~26	舟形藻 <i>Navicul</i> sp.	++	a:10~30;b:5~16
小型色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	++	d:3~4	桥弯藻 <i>Cymbell</i> sp.	++	a:8~40;b:4~15
旋折平裂藻 <i>Merismopedia convoluta</i>	+	d:4~5.2	新月拟菱形藻 <i>Nitzschia cloterium</i>	++	a:57~208;b:5~12
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	+	d:0.8~1.2	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> sp.	+	b:10~30
鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> sp.	+	b:10~11	圆柱角毛藻 <i>Chaetoceros teres</i>	+	b:18~50
细鞘丝藻 <i>Leptolyngbya</i> sp.	+	b:0.5~3	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	+	b:12~40
圆胞束球藻 <i>Gomphosphaeria aponina</i>	+	d:4~10	旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i>	+	b:7~30
微小念珠藻 <i>Nostoc microscopium</i>	+	d:2.5~3	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	a:30~116;b:5~6
项圈藻 <i>Anabaena</i> sp.	+	d:4.5~6	卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.	+	a:20~50;b:12~40
绿藻门 Chlorophyta			甲藻门 Pyrrophyta		
小球藻 <i>Chlorella vulgari</i>	+++	d:3~5	具刺膝沟藻 <i>Gonyaulax spinifera</i>	++	a:20~40;b:15~30

注: + 为少见种; ++ 为常见种; +++ 为优势种; a 为长; b 为宽; d 为直径。

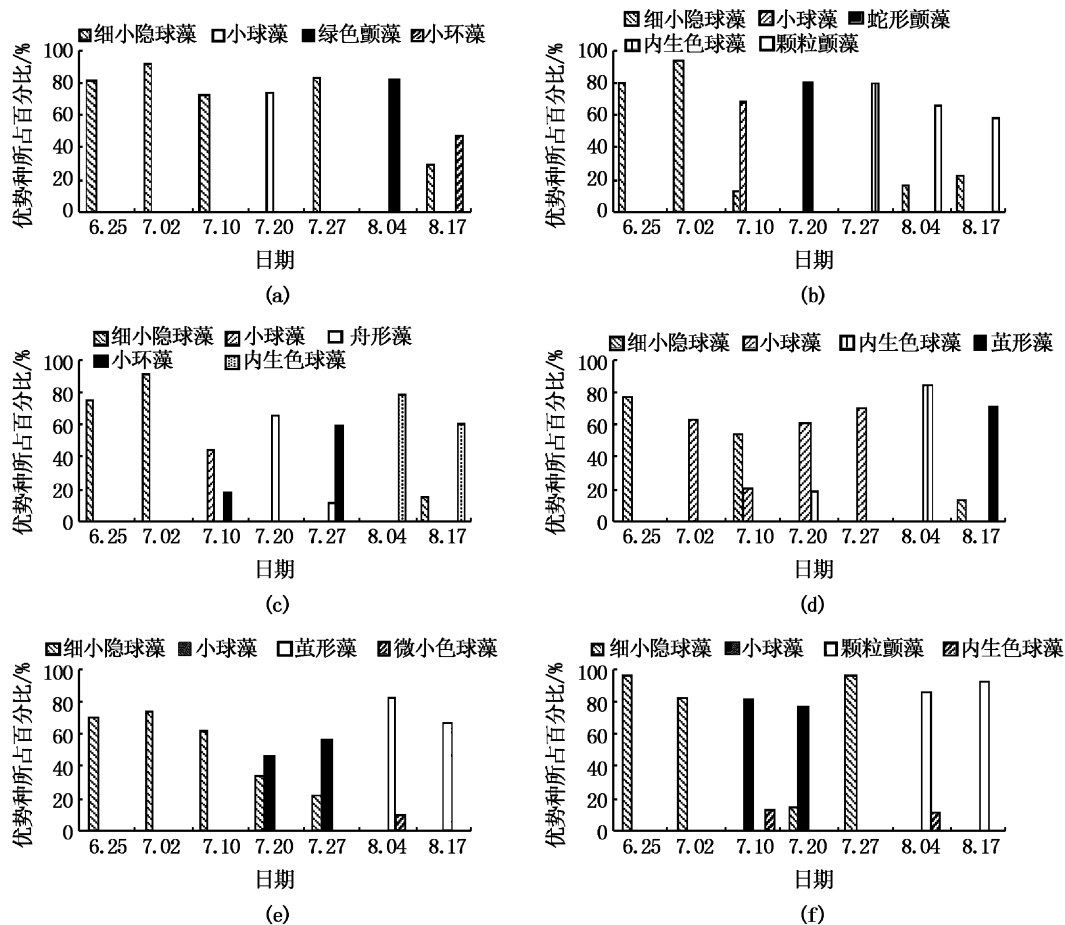


图 7 实验各组围隔浮游植物优势种演替动态

Fig.7 Succession of dominant phytoplankton species in experimental enclosures

列出的种类是占个体总数 10% 以上的优势种类。

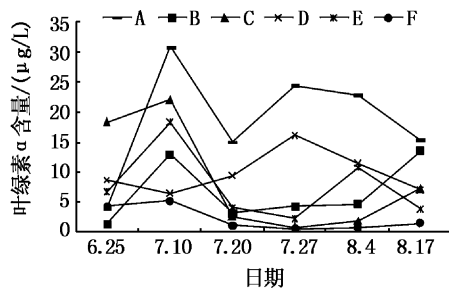


图8 各组围隔叶绿素 a 的平均含量变化
Fig. 8 Dynamic variations of average Chl. a concentration in experimental enclosures

3 讨论

3.1 混养罗非鱼对对虾养殖水体理化因子的影响

在对虾养殖过程中,虾池水质状况好坏直接影响对虾的生长、存活,如何将水质状况控制在适合范围,近年来备受人们关注。有研究表明,海水盐度、溶氧量、pH 等理化因子的变化与对虾发病死亡之间存在明显的诱发关系^[14-15],还有研究认为 NO₃-N、COD、NO₂-N、盐度、NH₃-N 和水温是对虾疾病爆发的关键因子^[16]。

由于罗非鱼的食性和生物扰动作用,能有效地控制和稳定水质,其对底层水的扰动作用,还能改善底层的含氧状况^[17],促进底质的矿化,改善高温、暴雨等恶劣天气导致的水体分层现象。从本实验结果可以看出,养殖水体氨氮和亚硝氮的含量变化,跟罗非鱼的放养密度有关,放养密度较小的 A、B 组与放养密度最大的 E 组变化情况与对照无鱼组相似,而放养密度适中的 C、D 组变化较对照组平缓,含量也显著低于对照组。这可能是由于罗非鱼的放养密度太小不能完全控制水质恶化,而密度太高则增加了水体排泄物,加速了底质营养盐的释放,促进系统中营养物循环^[18]。

在养殖过程中,水体中的有机物含量不断升高,从反映水体有机负荷大小的重要指标 COD、TOC 值的变化中可以得到体现。陈四清等^[19]认为饲料入水后能使水域每天增加 0.065 mg/L 的化学耗氧量,生产池中 COD 一般可达 8.01 ~ 14.22 mg/L,最高达到了 27.30 mg/L。本实验结果中 COD 值波动在 4.16 ~ 12.80 mg/L,TOC 值波动在 7.71 ~ 16.55 mg/L 之间。实验组 COD 和

TOC 含量变化较对照组高,这可能是由于实验组对虾成活率、投饵及养殖动物排泄物的积累等均高于对照组,从而导致实验组 COD 和 TOC 值高于对照组;在实验混养组中 COD 和 TOC 值的变化与罗非鱼的混养密度有关,混养密度高的 C、D、E 组 COD 和 TOC 值低于混养密度低的 A、B 组,可能原因是较高密度混养罗非鱼能够较充分地利用虾池中的残饵和有机碎屑等,从而减少水质因有机质过多而恶化。罗非鱼对养殖水体总氮和总磷的影响方面,刘辉等^[20]发现罗非鱼对围隔水体总氮和总磷有非常显著的影响,在其实验中,罗非鱼养殖围隔中总氮和总磷相比对照组分别升高了 42% 和 129%。而在本实验中,发现罗非鱼对对虾养殖围隔水体总氮和总磷的影响程度与罗非鱼的放养密度有关,放鱼密度适中的 B、C、D 三组 TN 和 TP 增加量小于 A、E 两组,表明放养适当密度的罗非鱼可以有效减少对对虾养殖水体中 TN 和 TP 增加量。

3.2 混养罗非鱼对对虾养殖水体浮游植物的影响

本实验研究发现,混养罗非鱼对虾池浮游植物群落结构和优势种类均有较大的影响,混养围隔中浮游植物群落较为简单,优势种较为突出。由于罗非鱼对浮游植物具有较强地选择性滤食作用^[21],细胞粒径较大的浮游植物在滤食中可能被优先利用,促进浮游植物小型化^[22],从而有利于水体中粒径小于 30 µm 的浮游植物种类丰度与生物量的增加^[23],本实验同样发现各围隔均以粒径较小的种类为优势种。有研究发现罗非鱼也能够摄食消化小型藻类如绿藻门的小球藻^[24]、蓝藻门的微囊藻^[25],表明罗非鱼可以控制这类浮游植物生长繁殖。

混养罗非鱼对虾池浮游植物生物量有较大的影响。实验发现,混养罗非鱼的实验组浮游植物生物量、叶绿素 a 的含量均高于没有放养罗非鱼的对照组,徐政等^[23]、杨凯等^[26]也发现放养罗非鱼的围隔中浮游植物丰度及生物量、叶绿素 a 的含量高于对照无鱼组。这可能是由于罗非鱼的搅底作用,混养罗非鱼加速了对对虾养殖池底质的再悬浮,有利于有机质的矿化,给浮游植物的生长提供源源不断的营养物质,促进了浮游植物的生长繁殖。不同混养密度对浮游植物生物量的影响也不同,从本实验结果可以看出,混养罗

非鱼密度小的 A、B 围隔叶绿素 a 的含量高于混养密度相对较高的 C、D、E 组,这可能是由于较高密度的混养罗非鱼因滤食量大而压制了浮游植物的过度繁殖。有研究还发现放养罗非鱼还能够减少附着藻类的生物量^[27]。

混养罗非鱼对虾池浮游植物群落结构稳定性也有影响。在实验中发现,在混养罗非鱼之前,受连续阴雨天气的影响,浮游植物生物量在几天之内大幅下降。混养罗非鱼之后,同样受到暴雨、连续阴雨等恶劣天气的影响,但浮游植物生物量的变化较平缓,没有出现瞬间崩溃的现象。

参考文献:

- [1] 雷从改,邱名毅.青石斑中间培育与南美白对虾混养试验[J].科学养鱼,2008(4):25-26.
- [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] 杨越峰,吴秀芹,王宁,等.南美白对虾与罗非鱼混养试验[J].河北渔业,2006(4):40-41.
- [4] BERGQUIST A M, CARPENTER S R. Limnetic herbivory: Effects on phytoplankton populations and primary production [J]. Ecology, 1986, 67: 1351-1360.
- [5] VANNI M J, LAYNE C D. Nutrient recycling and herbivory as mechanisms in the "top-down" effect of fish on algae in lakes [J]. Ecology, 1997, 78: 21-40.
- [6] OSO J A, AYODELE I A, FAGBUARO O. Food and feeding habits of *Oreochromis niloticus* (L.) and *Sarotherodon galilaeus* (L.) in a tropical reservoir [J]. World J Zool, 2006, 1(2): 118-121.
- [7] TURKER H, EVERSOLE A G, BRUNE D E. Filtration of green algae and cyanobacteria by Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in the partitioned aquaculture system [J]. Aquaculture, 2003, 215: 93-101.
- [8] LU K H, JIN C H, DONG S L, et al. Feeding and control of blue-green algal blooms by tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Hydrobiologia, 2006, 568(1):111-120.
- [9] 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.
- [10] 胡鸿钧,李尧英,魏印心,等.中国淡水藻类[M].上海:上海科学技术出版社,1980:10-4781.
- [11] 麦雄伟.南美白对虾温棚淡化养殖水体生态特征研究[D].广州:中山大学,2003.
- [12] 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.
- [13] 国家海洋局.海洋检测规范[M].北京:海洋出版社,1991.
- [14] 蒋国先.试论对虾病害发生因子与虾病的预防[J].现代渔业信息,1994,9(2):8-10.
- [15] 李健.我国养殖对虾病害发生与池塘环境生态的关系及对策探讨[J].现代渔业信息,1996,11(5):4-8.
- [16] 王年斌,韩家波,周遵春,等.虾池水环境因子与虾病爆发的相关性分析[J].水产科学,2004,23(12):5-8.
- [17] 赵玉明.单养和混养模式下三角帆蚌养殖池昼夜塘溶氧波动特征[J].青岛农业大学学报,2010,27(2):154-158.
- [18] 阮景荣,刘衢霞,王少梅,等.罗非鱼对微型生态系统营养物水平的影响[J].应用生态学报,1993,4(4):404-409.
- [19] 陈四清,李晓川,李兆新,等.中国对虾配合饲料入水后营养成分的流失及其对水环境的影响[J].中国水产科学,1995,2(4):40-47.
- [20] 刘辉,谢贻发,张修峰,等.罗非鱼对水质的影响[J].生态科学,2008,27(6):494-498.
- [21] 李思发.我国罗非鱼产业的发展前景和瓶颈问题[J].农技服务,2004(4):4-6.
- [22] 赵文,董双林,郑伟刚,等.罗非鱼对盐碱池塘围隔浮游生物群落的影响[J].动物学研究,2000,21(2):108-114.
- [23] 徐政,张贵刚,胡韧,等.贫营养型水库中罗非鱼对浮游植物的影响:围隔实验[J].应用与环境生物学报,2011,17(2):191-197.
- [24] MORIARTY C M, MORIARTY D J W. The assimilation of carbon from phytoplankton by the two herbivorous fishes: *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* [J]. Zool, 1973a, 171:41-56.
- [25] 吉滨河,周路,曾纪财.尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus* Linn)胃酸的pH值,周日变化及其在消化蓝藻中的作用[J].湛江水产学院学报,1989,9(1/2):30-39.
- [26] 杨凯,张修峰,刘正文.罗非鱼对浮游植物群落的影响[J].水生态学杂志,2010,31(3):12-17.
- [27] ASADUZZAMAN M, WAHAB M A, VERDEGEM M C J, et al. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton development on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems [J]. Aquaculture, 2009, 287(3/4): 271-280.

Effects of tilapia polycultured in *Litopenaeus vannamei* culture enclosure on water quality factors and the structure of phytoplankton community

SU Li, ZHU Chang-bo, CHEN Su-wen

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong, China)

Abstract: *Litopenaeus vannamei*-GILI tilapia enclosure polyculture experiment was conducted in Dianbai, Maoming city, Guangdong province from June to August, 2011. Selecting an experiment pond, and setting up 24 enclosures. These enclosures were divided into six groups (A, B, C, D, E, F), each group has four parallels, among these groups F was control group, not stocking tilapia. During aquaculture time, investigations of water quality factors and phytoplankton community were conducted. The results showed as follows: (1) Throughout the culture period, dissolved oxygen content was close in all groups. Nitrite and ammonia concentration showed an increasing trend in each group, and among them, C and D groups were significantly lower than A, B, E and F groups ($P < 0.05$). The concentration of COD and TOC were experimental groups higher than control groups. In the experimental groups, A and B groups were higher than C, D and E groups. As for the increase amount of TN and TP, group A is highest, control group F is lowest, while in experimental groups, A and E were higher than B, C and D groups. (2) 36 phytoplankton species were identified during the culture period. Dominant species is single and prominent. Experimental groups Chlorophyll a content were higher than control group, and between the experimental groups, A and B were higher than other three groups. These results indicate that polyculture appropriate density of tilapia in shrimp ponds is conducive to improving water quality, and can regulate and control the type and quantity of phytoplankton.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; GILI tilapia; water quality factors; phytoplankton; community structure