

菊花江蓠对陆基围隔高密度对虾养殖的污染净化与水质调控

徐永健¹, 韦玮¹, 钱鲁闽²

(1. 宁波大学 生命科学与生物工程学院, 浙江 宁波 31521; 2. 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 316005)

摘要:采用围隔设置单养虾(S)、单养藻(A)、虾藻混养(SA)、虾鱼藻混养(SFA)4种不同养殖模式,探讨菊花江蓠(*Gracilaria lichevodes*)对围隔高密度对虾养殖过程中产生的污染进行净化和水质调控作用。结果表明,养殖菊花江蓠的围隔水体中有更高的DO水平和较低的营养盐水平,说明对养殖水体的环境因子和营养盐都能起到很好的调控作用。水体中弧菌密度也较低,养殖环境稳定性好,使得养殖的对虾生长快,成活率高。与S相比,SA中的对虾成活率提高了32%。本实验对于采用搭配大型海藻进行养殖污染的净化与水质调控方法是可行的和有效的。[中国水产科学,2007,14(3):430-435]

关键词:菊花江蓠;陆基围隔;养殖污染;水质调控

中图分类号:S917 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2007)03-0430-06

传统的海水养殖对投入的饵料利用率较低,大量的残饵及其他有机物质如粪便、生物残骸等进入水体和底质,最终都通过水交换进入环境中。养殖污染物的排放、沉积可引起水体富营养化,造成水质恶化^[1-3],对天然水域产生严重破坏,已引起了广泛地关注。翟美华^[1]曾对山东烟台的虾池排污进行了统计,8 000 hm²虾池年排放废水近44亿t,含有机物质1.7万t;孙耀等^[2]对山东丁字湾养殖海域的化学指标和营养状况进行调查也发现,由于大面积的对虾养殖池塘排放的废水,已引起了湾内海域有机物质和营养盐的严重超标和富营养化;沈国英等^[3]也指出,虾池排放的废水超过局部海域的自净能力,加速了海区的富营养化过程,并导致近岸内湾更频繁地出现赤潮。

大型海藻能吸收大量的N、P等营养物质,产生氧气,可净化和修复受污染的水质^[4-5]。是海洋环境中N、P污染物有效的生物过滤器,例如,江蓠与动物混养可有效地去除动物养殖过程中排放的污染物^[4-5]。通过江蓠与对虾等养殖动物混养,优势互补,增产增收,这方面已有一些研究报道^[6],本研究主要从养殖污染净化及水质调控方面考虑,旨在探讨如何对海水养殖生态系统进行优化及综合开发,从而使海水养殖在维护生态环境前提下,获得较好的经济效益。

1 材料与方法

1.1 材料

放养的凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei* Boone)苗种体长为1~2 cm;菊花江蓠(*Gracilaria lichevodes*)采自福建省东山岛八尺门养殖筏架;星洲鱼(*Tilapia mossambica*)由国家海洋局第三海洋研究所生物技术中心惠赠,平均体长7~9 cm。

1.2 实验设计

实验在国家海洋局第三海洋所东区的水泥池中进行,在6 m×3 m×1.8 m的水泥池中放置12个尼龙围隔,每个围隔规格为1.5 m×1.0 m×1.7 m,各围隔间无水交换发生。实验设4个处理,分别为单养虾(S)、单养藻(A)、虾藻混养(SA)、虾鱼藻混养(SFA),每个处理设3个重复。各围隔放养品种及规格如表1所示。

1.3 日常管理与采样

养殖海水来自厦门东海岸,沙滤处理,进水后在每个围隔内放置2个充气石(作取样前混合水体用)。养殖生物于9月8日放入围隔中,菊花江蓠吊在竹架上,固定在水深约50 cm处,养殖过程中,根据围隔内水色变化适当调整藻架深度,当池水透明度(SD)超过1 m时,收获部分江蓠,恢复到江蓠的初始放养密度,如表1;星洲鱼实验前经海水驯化成活后,先暂养在纱绢小框内,待对虾体长达5 cm后,

收稿日期:2006-09-11;修订日期:2006-12-20。

基金项目:浙江省教育厅项目(20051698);浙江省教育厅“高校青年教师资助计划”项目(2005757);宁波市自然科学基金项目(2006A610087)。

作者简介:徐永健(1975-),男,博士,从事养殖生态学方面研究。Tel:0574-87600374;E-mail:xuyongjian@nbu.edu.cn

再把鱼从小框放到围隔内。养殖过程中,对所有养
况,酌情增减;整个实验期不换水,仅添加淡水补充
虾围隔投喂配合饵料,早晚 2 次,并视饲料摄食情
蒸发的水量,至 11 月 3 日实验结束。

表 1 各处理组放养情况
Tab. 1 Stocking conditions in each treatment group

养殖模式 Culture model	藻放养量/g Algal stocking	对虾放养量/尾 Shrimp stocking	虾体长/cm Shrimp body length	鱼放养量/尾 Fish stocking	鱼体长/cm Fish body length
S	—	700	1—2	—	—
A	750	—	—	—	—
SA	750	700	1—2	—	—
SFA	750	700	1—2	8	8.10±0.58

注:S,单养虾;A,单养藻;SA,虾藻混养;SFA,虾鱼藻混养。
Note:S,Shrimp monoculture;A,Alga monoculture;SA,Shrimp polyculture with alga;SFA,Shrimp polyculture with fish and alga.

每天上午 9 : 00 采样,现场测定水温(t_w)、溶解
氧(DO)、SD;然后,对各围隔充气 2~3 min,使围隔
内水体混合均匀,再用 1 L 聚乙烯瓶采集水样。立
刻运回实验室进行处理,异养菌样品用戊二醛固定
后,-20 ℃保存,采用流式细胞仪(FCM)进行定量
分析。浮游植物用鲁戈氏液固定 500 mL 海水,24 h
后浓缩加 1 mL 甲醛固定并定容至 50 mL;pH 用
Orion 酸度计测定;水体中 N、P 等营养元素分析参
照 JGOFS REPORT No. 19^[7]推荐的方法。

凡纳滨对虾的体长测定采用饵料台随机抽样方
法,共进行 3 次,分别在 9 月 21 日、10 月 11 日和 10
月 28 日白天投饵后 0.5~1 h 内进行,每次测定 30
~50 尾虾;在凡纳滨对虾体长测定的同时,也对各
围隔中的菊花江蓠进行称质量,用公式 $SGR = [(W_t/W_0)^{1/t} - 1] \times 100\%$ 计算菊花江蓠的特殊生
长率(SGR,%/d),式中: W_0 为初始时刻的藻鲜质量
(g), W_t 为 t 时刻的藻鲜质量(g), t 为 2 次测定的时

间间隔(d);水体弧菌采用 CFU 平板计数方法,用
TCBS 培养基 28 ℃培养 24 h,各养殖模式中弧菌数
量经 lg 对数变换后作密度动态变化图。

1.4 数据分析

采用 SPSS 软件进行多重比较和分析。数值以
 $\bar{X} \pm SD$ 表示,当 $P < 0.05$ 时,认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 各模式中环境因子的动态变化

实验期间,围隔内的水温在 27.6~33.8 ℃之间
波动,盐度范围为 26~28。实验开始的 9 月份水温
较高,至 10 月份水温有所下降,整个实验期间水温
大致从高到低变化,温度变化在鱼、虾、藻的适宜生
长范围内。其他的两个重要环境因子 pH 和 DO 的
动态变化情况见图 1,各值都是该处理 3 个平行围
隔相应值的平均。从图 1 可见,在实验前期(9 月 30
日前),两因子的变幅不大,各养殖模式间差异也不

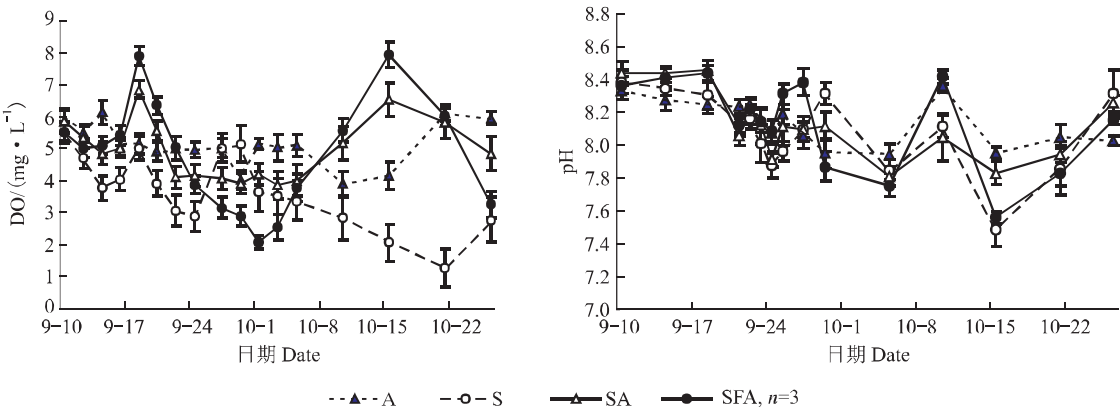


图 1 不同养殖模式中的 DO 和 pH 随时间的动态变化
S:单养虾;A:单养藻;SA,虾藻混养;SFA,虾鱼藻混养

Fig. 1 Variations of DO and pH in different culture models

S,Shrimp monoculture;A,Alga monoculture;SA,Shrimp polyculture with alga;SFA,Shrimp polyculture with fish and alga

显著($P>0.05$);至实验后一阶段(10月10日后), pH与DO变化幅度较大,各模式间的差异也较大,其中DO在S和SFA处理中变幅较A及SA处理要大;而pH值在A和SA处理中相对较稳定,图中显示曲线的变幅较小。

2.2 各模式中凡纳滨对虾存活率及生长的变化

图2为不同模式中的凡纳滨对虾的平均体长和成活率情况。从图2可见,前2次测量时,不同养虾模式间(S单养虾、SA虾藻、SFA虾鱼藻)虾的体长差别不明显($P>0.05$),但是,S中虾的规格从3 cm到6.5 cm不等,差异比另2个模式中要大得多;10月28日的第3次测量,S与SA比较,两模式中虾的平均体长差异非常显著($P<0.01$),而S与FSA以及FSA与SA间的差异不显著($P>0.05$);另外从

对虾的规格和体色等观察,SA中的对虾要比其他2个模式要匀称、色泽好。此外,在同一模式中,尽管经过一段时间,对虾平均体长都有所增长,但是,只有在SA中,后一阶段较前阶段体长的增长明显($P<0.01$),见图2。

图2还显示不同模式间对虾的成活率。由于养殖过程中,S模式的一个围隔因水华崩溃而造成隔内全部对虾窒息死亡,另一围隔单养虾围隔也由于缺氧有部分对虾死亡,因此图中仅显示1个单养虾存活围隔的结果。从图中看,养藻围隔中对虾的成活率要大大高于单养虾围隔($P<0.01$),其中SA模式比S模式中对虾的平均成活率高了32%;而SA与SFA间,成活率的差异不显著($P>0.05$)。

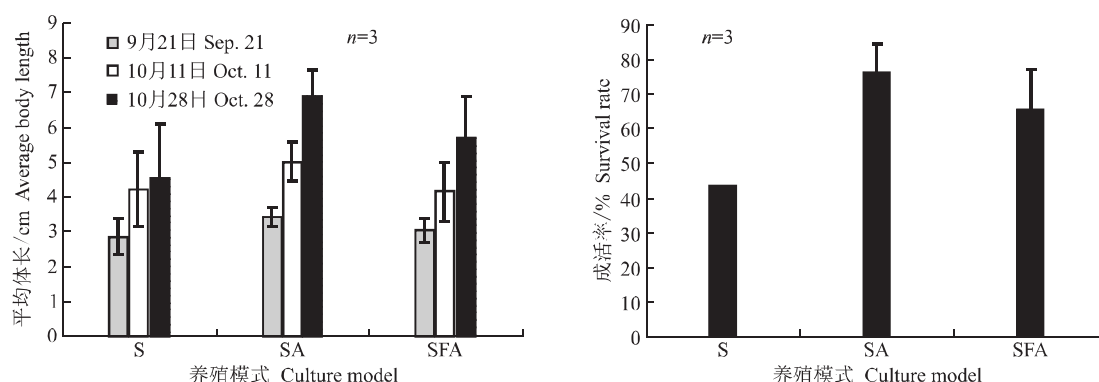


图2 不同养殖模式下对虾平均体长和成活率变化

Fig. 2 Variations of average body length and survival rate of *P. vannamei* in different culture models

2.3 各模式中江蓠生长速率变化

图3为各模式中海藻生长速率变化状况。从图中看,9月21日前,各模式中海藻的生长速率都较大,在5%/d以上;而后的9月21日~10月11日间,海藻的生长速率较小。在这2个阶段,各模式间海藻的生长速率差异不显著($P>0.05$)。至第3个阶段(10月11日后),尽管各模式中海藻的生长率有所回升,但A模式中海藻生长速率明显地不如SA和SFA,经比较分析,A与SA和SFA间的差异显著($P<0.01$);而后两者间差异不明显($P>0.05$)。

2.4 各模式中营养因子动态变化

各围隔营养盐的动态变化如图4所示,各因子的变化无规律可循,实验前期(9月30日前)各因

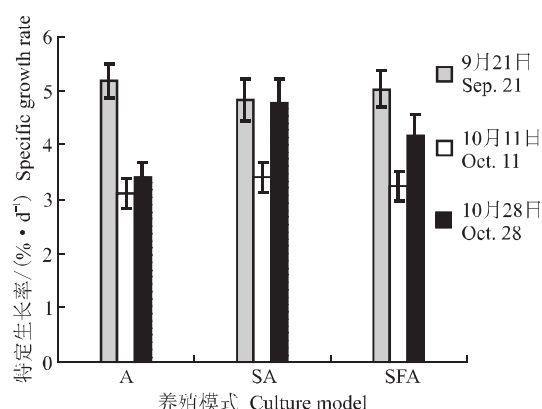


图3 不同模式的菊花江蓠特定生长速率变化

Fig. 3 Variations of specific growth rate of *G. lichevoides* in different culture models

子的变化在各模式间的差异不大;至后一阶段,各因子在不同养殖模式中的差异才逐渐变大。其中营养因子 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 含量在单养藻 A 模式中始终保持比较低的水平,而在单养虾 S 中波动最大,鱼虾藻 SFA 养殖模式营养因子略低于 S 但高于虾藻 SA。不同模式中各营养

因子的变化与江蓠的生长趋势相一致,前期 N、P 保持低水平,使得海藻在经历第 1 阶段的快速生长后进入到了低生长的第 2 阶段(图 2),而后水体中营养水平的升高,造成了后期海藻生长速率的恢复。

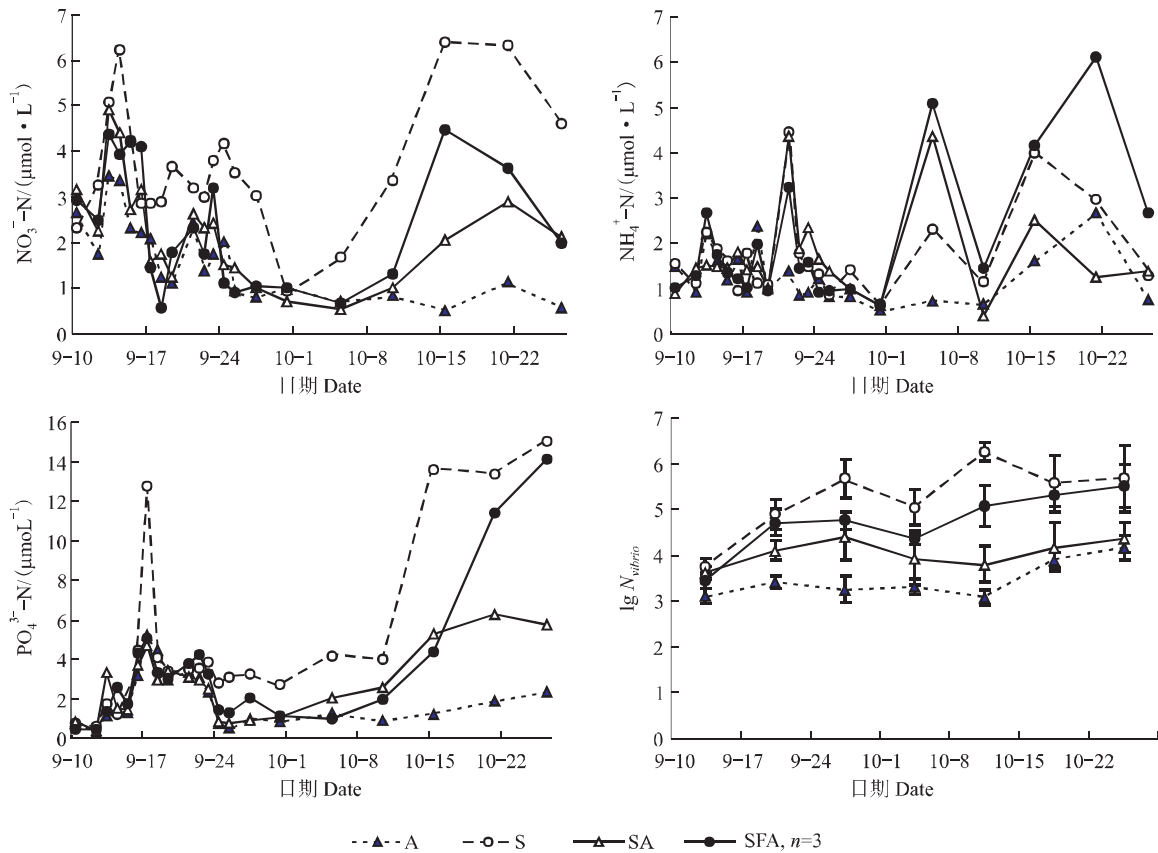


图 4 不同模式中的 IN、IP 及弧菌数量动态变化

注: N_{vibrio} 为围隔中弧菌数量, cells/mL。

Fig. 4 Variations of IN, IP and *Vibrio* quantity in different culture models

Note: N_{vibrio} represents number of *Vibrio*, cells/mL.

2.5 各模式中的弧菌数量变化

各养殖模式中弧菌数量的动态变化如图 4。从图中看,实验开始时,各模式间弧菌的密度相近。随着养殖时间的延长,单养藻 A 中弧菌数量相对稳定,大部分时间都处于 10^3 cells/mL 量级,只是到后期略有升高,但比所有的其他模式都要低;单养虾 S 中弧菌数变化最大,也是所有模式中丰度最高的,在 $10^4 \sim 10^6$ cells/mL 量级变动;SA、SFA 中都有江蓠,前期两者的变化趋势相似,差异不显著 ($P > 0.05$),但 10 月 10 日后, SFA 中弧菌密度不断升高,最后与 S 模式间没有显著差异 ($P > 0.05$),却与 SA 差异显著

($P < 0.01$),而在养殖后期 SA 中的弧菌密度却与 A 模式没有显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 对虾生长差异

虾池生态系统是一个人工控制的生态系统,人工放养生物是该系统中的绝对优势种群,人工投饵是主要能量和营养输入途径^[8],因此其稳定性和自我调节能力较差。养殖系统中人工投入的 N 占总输入 N 的 90% 以上,其中仅很小一部分转化为虾渔产品^[9],其余的均留在水体中,经微生物

物分解后产生了大量的 NH_3 等一些有毒有害的物质,对养殖生物生长产生抑制作用,甚至还诱发疾病及致对虾死亡^[10]。因此养殖池塘水质的好坏决定了对虾生长的快慢和成活率的高低。本研究中,与藻类混养的对虾生长快,其成活率与单养对虾组相比提高了 32%,表明加藻处理可以优化养殖水环境质量,降低水体中有毒有害物质对对虾生长的胁迫,增强对虾抵抗疾病的能力,这从营养盐因子(图 4)和环境因子(图 1)比较也能看出。

3.2 江蓠、DO 与营养盐变化

大型海藻可以大量吸收营养,释放氧气,从而降低水体有机物和营养盐负荷^[11]。本研究的结果佐证了这一观点,与单养虾相比,放养江蓠的围隔中具有更高水平的 DO 和低水平的营养盐,且 DO 和营养盐水平的相对稳定性都高于单养虾模式,表明大型海藻的确能降低水体的营养负荷并提高 DO 水平,而没有放养江蓠的单养虾池,DO 和营养盐的调控要通过浮游植物来进行。如果浮游植物丰度高,水体中便具有较高的 DO 水平和低营养负荷,如在浮游植物丰度低或在水华消亡期,则容易出现 DO 过低等胁迫,在本实验的单养虾围隔中,由于水华的崩溃,极易造成对虾缺氧窒息而部分甚至全部死亡的现象,因此仅依靠水体中的浮游植物来调控水质的方法存在着很大的风险,且难度也较大。

采用大藻来调控水质还要注意,要有一定的藻类初始密度才能较好地调控水质。在本实验中,SFA 模式中由于藻类放养密度不足,导致在养殖后期水质与 S 模式相近,严重影响到对虾的生长。另外,对虾养殖周期一般更长,如养殖过程中环境条件不适于大型海藻生长,则系统中的大藻不但不能调控水质,反而还会腐烂分解,加剧了水质的恶化。最好的解决办法是采用两种或多种海藻的合理搭配、轮养互补进行污染净化和水质调控。

3.3 弧菌

弧菌是对虾细菌性疾病的条件致病菌,研究它的数量对于虾病的防治有重要的意义^[12]。一般水体中的弧菌数与细菌数决定于养殖环境的好坏,当水体中的弧菌数或总菌数达到一定值 (10^5 cells/

mL)后,就有发生疾病的危险^[12]。本实验的围隔内弧菌数量随着养殖时间的延长而增加,对虾平均体长的增长速率与弧菌的数量具有反比关系,这与文献^[12]的报道相符。这同时也说明了,环境水质差,促进了水中弧菌数量增加,减缓对虾生长甚至发病死亡,而弧菌丰度的增加也表明水环境质量恶化,这两者相互作用影响养殖对虾的生长和存活。

参考文献:

- [1] 翟美华. 烟台市养虾废水排放及控制[J]. 海洋环境科学, 1996,15(4):58—61.
- [2] 孙耀,于宏,杨琴芳,等. 丁字湾海水化学因素及营养状况的分析与评估[J]. 水产学报,1990,14(1):33—39.
- [3] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 厦门:厦门大学出版社, 1996:324.
- [4] Okhyun A, Royann J P, Paul J H. Ammonium and nitrate uptake by *Laminaria saccharina* and *Nereocystis luetkeana* originating from a salmon sea cage farm[J]. J Appl Phycol, 1998,10:333—340.
- [5] Jones A B, Dennison W C, Stewart G R. Influence of nitrogen source and availability on amino acids pigments and tissue nitrogen of *Gracilaria edulis* (Rhodophyta) [J]. J Phycol, 1996,32:757—766.
- [6] Liu S J, Jie Z Y, Zeng S F. The commercial cultivation of *Gracilaria* and its polyculture with prawn in Chinese[J]. J Zhanjiang Ocean Univ, 1997,17(2):27—30.
- [7] JGOFS International Project Office Center for Studies of Environment and Resources. Protocols for the Joint Global Ocean Flux studies (JGOFS) core measurements. JGOFS REPORT No. 19, Bergen, Norway, 1994:25—118.
- [8] 翟雪梅,张志南. 虾池生态系能流结构分析[J]. 青岛海洋大学学报, 1998,28(2):275—282.
- [9] 徐永健. 对虾综合养殖池塘中氮磷收支及利用率研究[D]. 青岛:青岛海洋大学, 2001.
- [10] 孙舰军,丁美丽. 改善虾池环境增强中国对虾抗病力研究[J]. 海洋科学, 1999(1):3—5.
- [11] 徐永健,钱鲁闽,焦念志. 江蓠作为污染指示生物及修复生物的氮营养特性[J]. 中国水产科学, 2004,11(3):276—281.
- [12] 林美兰,倪纯治,刘文华,等. 厦门同安西柯对虾养殖池的细菌数量动态[J]. 台湾海峡, 1998,17(2):156—161.

Pollution purification and water-quality control of shrimp aquaculture in land-based enclosure by *Gracilaria lichevoides* (Rhodophyta)

XU Yong-jian¹, WEI Wei¹, QIAN Lu-min²

(1. Institute of Life Sciences and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. The Third Institute of Oceanography, State Ocean Administration, Xiamen 316005, China)

Abstract: This study aimed to discuss how to integratively develop and optimize the ecosystem of shrimp mariculture. Furthermore, preferable economic benefit will be obtained on the premise of protection environment of aquaculture. The red macroalga *Gracilaria lichevoides* was selected as experimental material, and the experiment was done in 6 m×3 m×1.8 m concrete ponds at the Third Institute of Oceanography, 12 land-based enclosures were utilized, which was 1.5 m×1.0 m×1.7 m, and 4 aquaculture models were set up, which were shrimp mono-culture model (S), alga mono-culture model (A), shrimp-alga integrated model (SA) and shrimp-fish-alga integrated model (SFA). No water exchange happened among the enclosures. The results showed that during experiment, water temperature fluctuated from 27.6 °C to 33.8 °C, and salinity was 26—28. The other two environmental factors—pH and DO—fluctuated weakly at the first stage of experiment (before Sep. 30), and no differences among these models. However, pH and DO at the last stage (after Oct. 10) fluctuated intensively, and concentrations of DO in models S and SFA changed more quickly than those in models A and SA. The average body length of shrimp *Penaeus vannamei* was obviously different between S and SA after 45 d stocking, moreover, survival rate of shrimp in model SA was 32% higher than that in S. The concentrations of nitrate, ammonium and phosphate were not different among models at the first stage, and difference graduated obviously after that. Thereinto, the three factors in model A kept all along at low level, and fluctuated most intensively in S. The density of *Vibrio* was about 10³ cells/mL in model A, and 10⁴—10⁶ cells/mL in model S. The densities of SA and SFA were between them. The macroalga had a good function of regulating and controlling environmental factors (DO, pH) and nutrient factors (NO₃⁻—N, NH₃—N, PO₄³⁻—P) in enclosures, where there was higher content of dissolved oxygen (DO), lower concentrations of nutrients and *Vibrio* density, and bigger stable capacity to regulate aquaculture environment. This condition made rapid growth rate and high survival rate of shrimp stocked. From the environment point of view, this study made the utilization of macro-algae prevent pollution feasible and effective. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(3): 430—435]

Key words: *Gracilaria lichevoides*; land-based enclosure; aquaculture pollution; water-quality regulation