

# 滩涂海水种植-养殖系统细菌生态学研究\*

黄凤莲<sup>1</sup> 夏北成<sup>1</sup> 戴欣<sup>2</sup> 陈桂珠<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; <sup>2</sup>中国科学院微生物研究所, 北京 100081)

**【摘要】** 滩涂海水种植-养殖系统是一种新型的生态养殖模式. 对种植红树林的滩涂种植-养殖系统中细菌的生物量分布和水质的分析结果表明, 由于红树林的净化作用, 该系统内的水质达到Ⅱ~Ⅲ类海水水质标准, 而对照塘的处于Ⅳ、Ⅴ类水质标准. 系统中处理塘的异养菌、弧菌、磷细菌和产酶类细菌的数量比未种红树林的对照塘低1~2个数量级. 用CORREL软件分析了细菌与水质的相关关系, 异养菌、弧菌、磷细菌和产酶类细菌的数量与水体中的氮磷含量呈正相关. 其中异养菌与弧菌的相关系数为0.9205, 与氮磷的相关系数为0.6535(N)、0.8342(P), 表明异养菌和弧菌可作为滩涂海水养殖系统水质的生物监测指标.

**关键词** 种植-养殖系统 红树林 细菌生态学

**文章编号** 1001-9332(2004)06-1030-05 **中图分类号** Q938 **文献标识码** A

**Bacteria ecology in planting-culturing system.** HUANG Fenglian<sup>1</sup>, XIA Beicheng<sup>1</sup>, DAI Xin<sup>2</sup>, CHEN Guizhu<sup>1</sup> (<sup>1</sup>*School of Environment Science and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China*; <sup>2</sup>*Institute of Microbe Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(6): 1030~1034.

Planting-culturing system in inter-tidal zone is a new type eco-culturing model. The survey on bacteria biomass and water quality in the designed planting-culturing system in inter-tidal zone showed that the mangrove planted in the system improved water quality and made water quality to Ⅱ~Ⅲ type, better than the Ⅳ and Ⅴ type in the control pond. Designed ponds made heterotrophic bacteria, vibrio, phosphorus bacteria and enzyme-producing bacteria populations 1~2 order lower than the control pond without mangrove planting. Correlation analyses with CORREL software showed that the biomass of these bacteria was positively related with the nitrogen and phosphorus contents in water of the system, and the correlation coefficient for heterogeneous bacteria and vibrio was up to 0.9205. Heterotrophic bacteria and vibrio could be used as the water-quality monitoring organisms.

**Key words** Plant-culture system, Mangrove, Bacteria ecology.

## 1 引言

在现代养殖业中, 由于人类养殖活动以及养殖生物本身的分泌、排泄和饵料过剩等造成水质的恶化, 进而影响水产养殖生物的存活率和产量. 而且, 水产疾病与水体环境密切相关, 虽然大多数养殖病害由病毒引起, 但水体的污染是诱发因素<sup>[1~5]</sup>. 因此, 水质的改善是水产健康的保证.

滩涂海水种植-养殖系统是一个半封闭系统. 养殖塘本身为一个不严密的封闭系统, 而养殖塘内海水来自河涌的涨潮海水, 海水进入系统后进行水产养殖, 直到需要换水时才将其放出. 养殖塘内筑成小畦种植红树林, 每个养殖塘深2 m, 红树林种植畦稍高于养殖塘水面, 养殖塘间种植了不同种类和不同比例的红树林, 其中海桑(*Sonneratia caseolaris* L.)、秋茄(*Kandelia candel* L.)和桐花树(*Ageiceras comiculatum* L.) 3种红树植物种植面积比例为45、30和15%的9个处理塘和1个对照塘共计35.67 hm<sup>2</sup>, 与红树林区域共同形成养殖水体. 这是一种新

型的养殖模式, 红树林吸收水体中的污染物, 而鱼虾类水生生物又利用红树林的枯枝落叶生长繁殖.

细菌是水体生态系统的重要组成部分, 与其他生物和环境条件一起构成水体生态系统, 参与物质循环和能量流动. 水体中的细菌与养殖环境有着密切的关系<sup>[6~10]</sup>. 目前, 有关对虾养殖系统中细菌生态学的研究比较深入<sup>[11~18]</sup>, 但对于滩涂种植-养殖系统中细菌的组成与分布规律研究甚少. 本研究于2002年11月~2003年1月对该类系统的细菌生态学进行调查研究, 主要对细菌总数、弧菌数、参与氮循环的硝化反硝化菌、参与磷循环的磷细菌和参与物质降解转化的产酶细菌进行分离培养及其生物量的计算, 以了解滩涂种植-养殖系统中细菌的组成与分布规律、水质与细菌类群、数量之间的关系, 为进一步净化该类水环境提供理论依据.

\* 国家“863”计划资助项目(2001AA627030).

\*\* 通讯联系人. E-mail: chenguizhu@yeah.net

2003-07-03 收稿, 2003-12-06 接受.

### 2 材料与方法

#### 2.1 样地设置

试验地设在深圳西部海上田园风光旅游区(113°45'53.0"E,22°43'14.4"N)内红树林种植-养殖系统示范区,各养殖塘内投放了美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*).采样点共10个塘,其红树林种植面积分别为:1)45%海桑;2)45%秋茄;3)30%秋茄;4)30%海桑;5)15%海桑;6)15%秋茄;7)45%桐花;8)30%桐花;9)15%桐花;10)对照塘.各养殖塘投放的鱼密度、管理水平和饵料投放一致.对照塘不种红树林,其余同处理塘.

#### 2.2 研究方法

**2.2.1 水样采集** 每处理塘采用三点采取水面下0.5m处水样混合而成.采集时测定水温和酸碱度.水样采集后立即带回实验室进行微生物分离培养,另取500ml水样用0.45mm微孔滤膜真空泵抽滤后用于氮磷的测定.水质分析依据《水和废水监测分析方法》<sup>[18]</sup>和《海水水质标准》.根据种植-养殖系统两个月换水1次的规律,在换水前和换水后每两周采样分析,采样时间分别为2002年11月5日,11月11日,11月21日,12月7日,12月24日和2003年1月5日.

**2.2.2 细菌培养计数** 不同类型的细菌采用不同方法进行培养和计数<sup>[19]</sup>.异养菌总数采用LB平板计数法,计数菌落形成单位数(cfu);海洋细菌采用Zobell-2216E平板计数法;弧菌数采用TCBS平板计数法;磷细菌采用蒙金娜卵磷脂培养基平板计数法(有机磷细菌),蒙金娜磷酸钙培养基平板计数法(无机磷细菌);硝化和反硝化细菌采用选择性培养基MPN法计数;产酶类细菌(淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶细菌)采用特异性培养基平板计数法.

**2.2.3 水质测定** NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N采用萘-乙二胺分光光度法;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N采用镉-铜还原法;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N采用次溴酸盐氧化法;PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P采用磷钼蓝分光光度法.

### 3 结果与分析

#### 3.1 种植-养殖系统中细菌的数量分布

**3.1.1 陆源细菌与海洋细菌的数量差异** 异养细菌(陆源细菌)和海洋细菌的变化趋势在10个采样点中具有较好的相似形,对照处理塘(10号)的细菌含量最高,比其他处理塘(除1号外)均高出一个数量级.异养菌总数及海洋细菌数的变化趋势一致,但异养菌总数量比较海洋细菌数高2~3倍(图1).由此可见,滩涂种植-养殖系统中不仅广泛生活着海洋细菌,而且多为适应近海生活的陆源菌.

**3.1.2 种植-养殖系统中弧菌的数量分布** 在各处理塘中,对照处理塘中的弧菌数量明显高于其他种有红树林的处理塘,对照处理塘的弧菌数量比弧菌含量最低的8号处理塘要高出7~8倍(图2).比较

异养菌总数、海洋细菌数和弧菌数,异养菌总数高出弧菌1~2个数量级,三类菌的数量分布趋势相一致.对照处理塘三类菌的含量均明显高于种有红树林的各处理塘(图2).

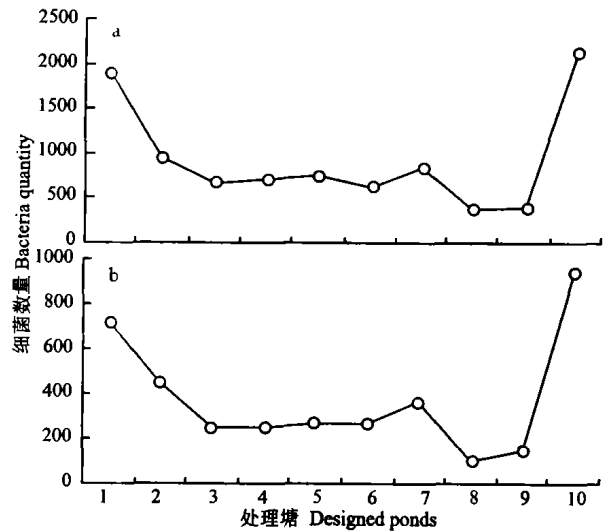


图1 种植-养殖系统各处理塘(1~10)异养菌总数(a)及海洋细菌(b)的数量分布  
Fig.1 Quantity distribution of bacteria-heterotrophic (a) and bacteria-marine (b) in designed ponds(1~10) in plant-culture system.

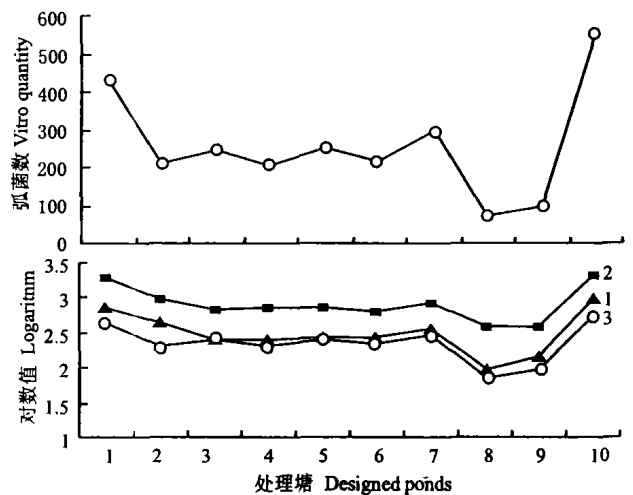


图2 种植-养殖系统各处理塘(1~10)弧菌数量分布及与其他类菌的对照  
Fig.2 Quantity distribution of vibrio in plant-culture system and in comparison with other bacteria.  
1)海洋细菌 Bacteria-marine; 2)异养菌 Bacteria-heterotrophic; 3)弧菌 Vibrio.

**3.1.3 种植-养殖系统中硝化与反硝化细菌的数量分布** 由图3可见,反硝化细菌(c)的数量比氢氧化细菌(a)高出2个数量级,比亚硝酸盐细菌(b)高2~3倍.氢氧化细菌的数量为39~290个·ml<sup>-1</sup>,亚硝酸盐细菌的数量波动范围为55~3.6×10<sup>3</sup>个·ml<sup>-1</sup>,反硝化菌的数量范围为2.4×10<sup>2</sup>~7.352×10<sup>3</sup>个·ml<sup>-1</sup>.

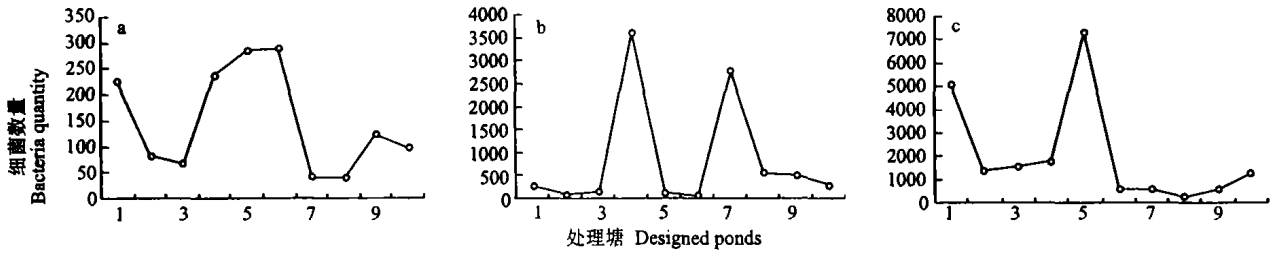


图3 种植-养殖系统中硝化细菌(a, b)、反硝化细菌(c)的数量分布  
Fig.3 Quantity distribution of nitrifying bacteria(a, b) and denitrifying bacteria(c).

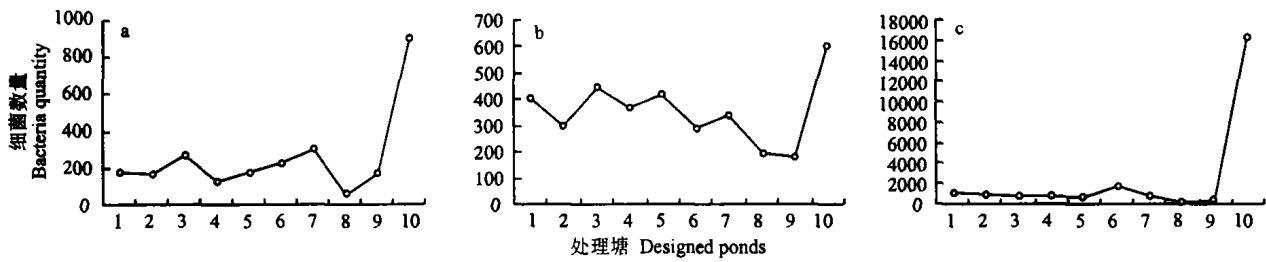


图4 种植-养殖系统中脂肪酶细菌(a)、蛋白酶细菌(b)和淀粉酶细菌(c)的数量分布  
Fig.4 Quantity distribution of greasease-bacteria(a), proteinase-bacteria(b), starchase-bacteria(c) in plant-culture system.

3.1.4 种植-养殖系统中产酶类细菌的数量分布 产酶类细菌在各取样塘中的数量分布波动范围较大,其中脂肪酶细菌为  $54 \sim 973 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ , 蛋白酶细菌为  $1.93 \times 10^2 \sim 6.03 \times 10^2 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ , 淀粉酶细菌为  $1.99 \times 10^2 \sim 1.38 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{ml}^{-1}$ . 对照处理塘的产酶类细菌数量比较其他处理塘高出1~2个数量级(图4).

各取样处理塘的三类产酶细菌的分布表现为淀粉酶细菌 > 蛋白酶细菌 > 脂肪酶细菌(对照处理塘10的脂肪酶细菌略高于蛋白酶细菌)(图5).

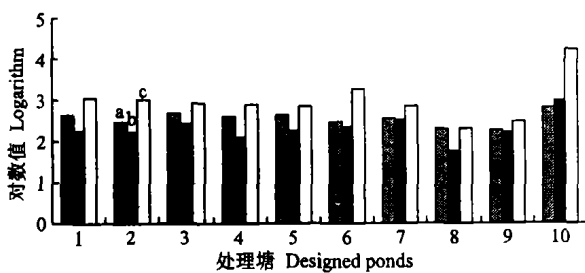


图5 种植-养殖系统中产脂肪酶细菌(a)、蛋白酶细菌(b)、淀粉酶细菌(c)在各处理塘中的分布  
Fig.5 Distribution of greasease-bacteria(a), proteinase-bacteria(b), starchase-bacteria(c) in each designed-ponds in plant-culture system.

### 3.2 种植-养殖系统中水质的理化特性分析

表1表明,对照处理塘的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、T-N、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$  的含量明显高于种有红树林的其他各处理塘.与国家海水水质标准比较,红树林种植处理塘的  $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$  含量达到国家海水水质标准一类至二类水质标准(一类:  $15 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 二类:  $30 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ),而对照的10号塘的  $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$  含量( $90.45 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

超过国家四类海水水质标准(四类:  $45 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ).红树林种植处理塘的 T-N 含量除3号处理塘外均达到国家海水水质标准二类水质标准(一类:  $200 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 二类:  $300 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 三类:  $400 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 四类:  $500 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ),而对照处理塘的 T-N 含量( $1246.60 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )大大超过四类水质标准.种植-养殖系统内温度与酸碱度变化符合海水二类水质标准的正常范围.研究发现,种植-养殖系统中的主要营养盐为硝酸盐,其次为亚硝酸盐和铵盐,磷酸盐的含量相对较低.水质的测定结果表明红树林具有显著净化养殖水的功能.

表1 种植-养殖系统中理化因子的测定结果  
Table 1 Determined result of physico-chemical factors about water quality in plant-culture system ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

处理塘 Ponds	T (°C)	pH	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	T-N	$\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$
1	19.60	8.15	29.50	25.32	272.55	327.37	22.60
2	20.02	7.77	28.20	41.15	321.90	391.25	5.45
3	20.28	7.74	53.05	42.53	415.22	510.80	7.32
4	20.97	8.06	25.73	35.63	314.60	375.96	11.83
5	20.45	7.59	41.05	8.08	229.68	278.81	3.67
6	20.79	7.69	31.48	21.12	224.10	276.70	8.13
7	20.10	8.16	22.55	58.85	297.90	379.30	19.53
8	20.36	7.65	45.88	43.37	262.40	351.65	5.03
9	20.70	7.88	18.23	23.25	161.42	202.90	6.62
10	20.57	8.03	78.80	207.85	962.95	1246.60	90.45

3.3 种植-养殖系统细菌分布与理化因子的相关性 用 CORREL 相关分析软件分析异养菌与弧菌的相关性,其数量具有显著相关,相关系数为 0.9205,异养菌与氮磷含量呈正相关关系,相关系数分别为 0.6535(TN)和 0.8342(P),弧菌与氮磷含量

具有正相关关系,相关系数分别为 0.6310(TN)、0.7230(P).系统中的有机污染物越多,异养菌与弧菌的数量越大(图 6).

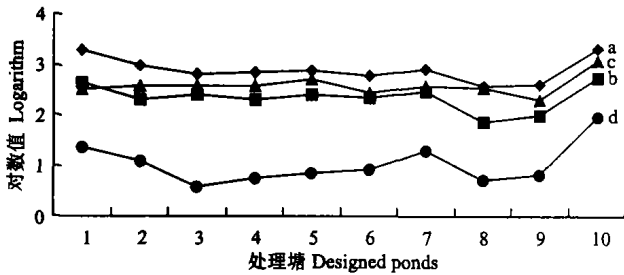


图6 异养菌(a)、弧菌(b)与氮(c)、磷(d)的相关关系  
Fig.6 Relation of bacteria-heterotrophic(a) and vitro(b) with nitrogen(c) and phosphorus(d).

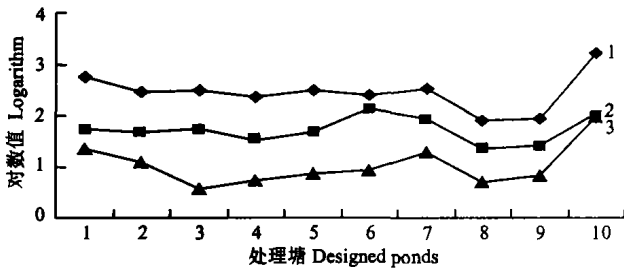


图7 有机磷和无机磷细菌数量与磷含量的相关关系  
Fig.7 Relation of biomass of phosphorus bacteria with quantity of phosphorus.  
1)有机磷 Organic phosphobacteria; 2)无机磷 Inorganic phosphobacteria; 3)PO<sub>4</sub>.

有机磷细菌与无机磷细菌数量分布呈正相关,相关系数为 0.7134,有机磷细菌数量分布与磷的含量呈显著正相关,相关系数为 0.8017,无机磷细菌数量分布与磷的含量呈正相关,相关系数为 0.5774(图 7).

三类产酶细菌的数量分布均与水体中氮磷含量呈正相关关系,其相关系数分别为:淀粉酶细菌 0.7849(TN)、0.8010(P);脂肪酶细菌 0.6545(TN)、0.7287(P);蛋白酶细菌 0.7768(TN)、0.5341(P)(图 8).

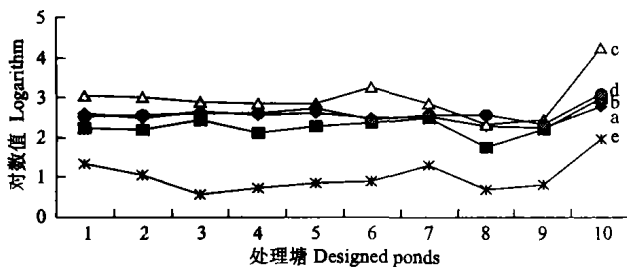


图8 产酶类细菌的数量分布与氮磷的相关关系  
Fig.8 Relation of biomass of enzymes bacteria with nitrogen and phosphorus.  
a)蛋白酶 Proteinase bacteria; b)脂肪酶 Greasease bacteria; c)淀粉酶 Starchase bacteria; d)T-N; e)PO<sub>4</sub>.

氨氧化细菌、亚硝酸盐细菌和反硝化细菌的数值变化与水体中污染物含量的相关性不明显.在整

个研究过程中,不同取样时间的数值波动范围大,而且不同处理间数值波动范围也很大,说明半封闭养殖水体环境的复杂性.但反硝化细菌的大量存在,说明水体中的硝酸盐含量高.

### 4 讨论

滩涂种植-养殖系统是一种新型的养殖模式,利用系统内的物质循环和能量流动,既净化了水质,又给鱼类提供了饵料,从而达到生态养殖的目的.滩涂种植-养殖系统中进水来自河涌涨潮河水,被大量内陆污染源(生活污水和工业污水)污染,水质处于IV~V级甚至V级以上.然而,含大量污染物的海水进入系统后,通过红树林的吸收利用(红树林属于滩涂耐盐植物,通过吸收海水中的营养盐等污染物用于自身的生长发育),水体中三氮、磷酸盐含量逐渐下降,细菌数量显著降低,水质达到II~III级,说明种植红树林的养殖复合系统具有显著的海水净化效应.这种养殖模式将促进滩涂海水养殖系统的可持续发展.

细菌总数和弧菌数量与水体中的氮磷含量呈正相关关系.在养殖系统中,可通过对细菌含量的定期测定来监测水质.根据海域营养型分级标准<sup>[11]</sup>,贫营养水域异养菌数量 10<sup>2</sup> cell·ml<sup>-1</sup>,中等营养水域异养菌数量 10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup> cell·ml<sup>-1</sup>,富营养水域 10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup> cell·ml<sup>-1</sup>,过营养水域 10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup> cell·ml<sup>-1</sup>,腐水水域 10<sup>5</sup> cell·ml<sup>-1</sup>以上.本研究中未种植红树林的对照处理塘(2.1×10<sup>3</sup> cell·ml<sup>-1</sup>)处于富营养状态,而种植红树林的养殖复合系统(3.8~9.5×10<sup>2</sup> cell·ml<sup>-1</sup>)能有效防止水体富营养化.这是因为红树林吸收水体中的污染物,使水体中的N、P等营养成分含量降低,从而抑制了细菌的大量繁殖.

本研究的不同比例种植面积都能有效地降低细菌数量的分布,但不同比例、不同种类红树林对细菌数量的分布无明显规律,只与对照处理塘比较具有显著效应,表明种植比例间净化效果差异不显著.这种现象的解释需要对整个种植-养殖系统的物质循环进行深入的研究后再做定论.产酶类细菌与水体的氮磷含量具有正相关关系,表明这些产酶类细菌对水体的氮磷转换和降解具有一定作用,是系统内氮磷循环的重要微生物之一.这也是水体具有自净能力的内在机理之一.<sup>[20]</sup>

滩涂种植-养殖系统中生物对水体具有很好的净化作用.除了植物(红树林)净化外,应积极开展高效净化微生物的筛选与研究,利用植物、微生物

的协同作用,改善养殖系统水环境,从而大幅度增加养殖经济效益以及生态效益。

**致谢** 中山大学生命科学院曹理想博士、黄慧润学士曾大力协助,表示感谢!

### 参考文献

- 1 Chen J-Z(陈家长), Jian J-C(简纪常), Hu G-D(胡庚东). 2002. Study of using microbacteria to improve the water environment of aquaculture. *J Zhanjiang Ocean Univ* (湛江海洋大学学报), 22(4):33~36(in Chinese)
- 2 Chen S-T(陈水土), Su G-C(苏国成), Du Q-H(杜庆红), et al. 1996. Aquatic environmental characteristics of shrimp culture in daguanban reclamation area during 1993 and 1994. *Mar Sci Bull* (海洋通报), 15(1):91~96(in Chinese)
- 3 Deng X-G(邓晓攀), Tang Y(唐贇). 2001. Selection and determination of some Photosynthetic Bacteria (PSB) applied to refine sewage. *J Sichuan Normal Univ* (Nat Sci) (四川师范大学学报(自然科学版)), 22(1):84~88(in Chinese)
- 4 Fang Z-S(方志山), Yang S-Y(杨圣云), Jiang H-Q(江惠琼), et al. 2002. Changes of main environmental factors of composite culture system in Longhaixian. *J Xiamen Univ* (Nat Sci) (厦门大学学报(自然科学版)), 41(3):349~353(in Chinese)
- 5 Guo P(郭平), Xu M-M(许美美). 1994. The bacterial variation in the water environment of cultured prawn pond. *Ocean Limno Sci* (海洋与湖沼), 25(6):625~629(in Chinese)
- 6 Hai J(海晶). 1997. Aquaculture & environment in east-south Asia. *Adv Environ Sci* (环境科学进展), (5):17~19(in Chinese)
- 7 Ji X-L(计新丽), Lin X-T(林小涛), Xu Z-N(许忠能). 2000. Mechanism of mari culture self-pollution and its effects on environment. *Mar Environ Sci* (海洋环境科学), 19(4):66~71(in Chinese)
- 8 Jia J-S(贾建三). 2000. Present state/question and prospect of aquaculture in new era. *Chin Fish Econ Res* (中国渔业经济研究), (4):12~17(in Chinese)
- 9 Jiang X-Y(姜新耀), Wang L-Q(王丽卿), Chen M-K(陈马康). 1994. The measurements of bacterioplankton growth rate and its seasonal variation. *J Shanghai Fish Univ* (上海水产大学学报), 6(4):258~262(in Chinese)
- 10 Li C-Y(李春雁), Yang Y-L(杨永亮), Mou X-Y(牟晓燕), et al.

2000. Bacteria ecology of alagoon-yuehu inlet, rongcheng bay, China. *Acta Qingdao Univ* (Nat Sci) (青岛大学学报(自然科学版)), 13(1):67~71(in Chinese)
- 11 Li H-R(李会荣), Yu Y(俞勇), Li Y(李筠), et al. 2001. Selection and identification of marine probiotics. *H-Tech Commun* (高技术通讯), (9):18~22(in Chinese)
- 12 Li Q-F(李秋芬), Qu K-M(曲克明), Xin F-Y(辛福言), et al. 2001. Isolation and selection of functional bacteria for bioremediation of shrimp culture environment. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 7(3):281~285(in Chinese)
- 13 Li Q-F(李秋芬), Yuan Y-X(袁有宪). 2000. Outlook for bioremediation researches on marine aquacultural environment. *J Fish Sci China* (中国水产科学), 7(2):90~92(in Chinese)
- 14 Lin R-G(林荣根). 2001. Effect of aquacultural environment on the shrimp growth and the pathogen transmission. *Mar Sci* (海洋科学), 25(7):11~14(in Chinese)
- 15 Luo L(罗琳), Shu T-F(舒廷飞), Wen Y-M(温瑛茂). 2002. Effects of aquaculture on coastal ecological environment. *Acta Fish Sci* (水产科学), 21(3):28~30(in Chinese)
- 16 Qiu H-D(邱宏端), Chen Z-W(陈智伟), Yuan Z-G(袁重桂). 2003. Antagonistic action of salt-resistant *Rhodospirillaceae* bacteria on aquacultural pathogens. *J Fish China* (水产学报), 27(1):69~74(in Chinese)
- 17 Qu K-M(曲克明), Li B-S(李勃生). 2000. A review on ecological environment of shrimp culture. *Mar Fish Res* (海洋水产研究), 21(3):67~71(in Chinese)
- 18 Qu K-M(曲克明), Li Q-F(李秋芬), Chen B-J(陈碧鹏). 2000. Artificial regulation and features of the ecological environment of shrimp pond. *J Ocea Huanghai-Bohai Seas* (黄渤海海洋), 18(3):72~80(in Chinese)
- 19 Wang J-L(王家玲). 1986. *Environmental Microbe Experiment*. Beijing: China High Education Press. (in Chinese)
- 20 Zhang J-C(张加春), Yuan D-Y(阮东义), Yi Q(易琴). 2000. The study of bacteria in Spirulina culture pools of Chenghai in Yunnan. *J Yunnan Univ* (Nat Sci) (云南大学学报(自然科学版)), 22(6):465~467(in Chinese)

---

**作者简介** 黄凤莲,女,1970年出生,博士,助理研究员,主要从事湿地生态和环境微生物研究,发表论文10余篇. Tel: 020-84039097; E-mail: 2hfl@163.com

---