

虾池沉积环境中若干功能菌及弧菌的时空变化

王晓颖¹, 席峰^{2,3}, 袁建军⁴, 田蕴¹, 王桂忠², 郑天凌^{1,2*}

(1. 厦门大学生命科学学院 应用与环境微生物研究所, 2. 近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 3. 集美大学水产生物技术研究所, 福建 厦门 361021; 4. 泉州师范学院生物学系, 福建 泉州 362000)

摘要: 2003 年 10 月 ~ 2004 年 5 月在泉州东海一新建虾池与一池龄 15 年的老旧虾池, 采用平板计数方法研究底泥环境中可培养异养菌 (HB)、淀粉降解菌 (AB)、有机磷降解菌 (OPB)、无机磷溶解菌 (NP)、几丁质降解菌 (CB)、油脂降解菌 (LB)、纤维素降解菌 (CLB)、硫酸化细菌 (SOB) 等各种功能菌以及弧菌 (VB) 数量的变化情况, 并对它们与可培养异养菌之间的相关关系进行了探讨。结果表明, 在整个养殖期中, 新池泥样中可培养异养菌总数范围在 $1.95 \times 10^4 \sim 7.7 \times 10^5$ CFU/g 之间, 旧池泥样中可培养异养菌总数范围在 $2 \times 10^4 \sim 1.88 \times 10^5$ CFU/g 之间, 两池的数量变化波动均较大, 其它功能菌与异养菌相似, 在整个养殖周期也是呈现较大的波动幅度, 但统计分析表明淀粉降解菌、有机磷降解菌、油脂降解菌、弧菌等与可培养异养细菌之间呈现着明显的正相关, 而几丁质降解菌、无机磷溶解菌、纤维素降解菌以及硫酸化细菌与异养菌之间则无明显的相关关系。

关键词: 虾池; 可培养异养菌; 功能菌; 动态变化; 相关性

中图分类号: S 968.22

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)S-0250-07

20 世纪 90 年代初期, 由于病害频繁发生, 我国的对虾养殖业跌至低谷。多年来的大量研究使越来越多的学者认识到: 虾病的根源是养殖生态环境的恶化, 污染的环境与养殖生物之间的恶性循环导致了病害的暴发, 必须采取生态防治的手段才能从根本上解决这一问题^[1]。因此, 对养殖环境进行深入彻底的调查研究势在必行。

微生物在对虾养殖生态系统中占有极其重要的地位, 它们是系统的分解者, 在对虾养殖进程中大量产生的残饵、粪便及死亡尸体的降解转化均由微生物负荷。与此同时, 微生物可通过微食物环与经典食物链衔接, 而使 DOC 得以通过食物链向养殖系统外输出, 同时微生物代谢生成的二氧化碳与营养盐又驱动了浮游食物链的物流与能流, 使养殖系统的物质负荷沿浮游食物链输出而得以减轻, 使虾池生态体系的物质循环得以维持, 从而影响整个养殖系统的物质循环和能量流动, 影响到整个养殖环境中的水质状况。

目前关于对虾养殖生态系的异养细菌以及弧菌, 国内外已有相关的研究报道^[2~4]。但是对于淀粉降解菌、有机磷降解菌、油脂降解菌等一些维持虾池生态平

衡的功能微生物则鲜有报导。由于虾池底质是对虾残饵、粪便及死亡尸体的汇集场所, 是影响水质的根源, 也是对虾生活的主要层面, 因此, 虾池表层沉积界面是牵一发而动全局的敏感界面。作者对泉州半精养虾池表层沉积环境中若干生态功能菌和弧菌进行了调查分析, 探讨虾池中生态功能菌以及弧菌在底质的时空分布特征及其与异养菌之间的相关关系, 可为探讨微生物在水产养殖生态系统中的作用、微生物对水质状况的指示作用及开发有意义的菌种等方面提供重要的参数。

1 材料与方法

1.1 取样地点和样品的采集

样品取自泉州东海虾池, 位于东经 118°41'161"; 北纬 24°53'068"。虾池位处泉州湾, 由晋江与洛江形成的冲积平原上的滩涂开发而成, 该区虾池已有十几年的养殖历史, 本研究所选虾池为一新建虾池与一毗邻的池龄 15 年的老旧虾池, 面积均约为 1.4 hm², 均采用纳潮排污及半精养的养殖管理模式。

于 2003 年 10 月 ~ 2004 年 5 月对新旧两个虾池进行多点采样, 每 21 天左右采集表层沉积物泥样一次, 共 10 次。每次测定均于环沟区和中央区设置采样点, 采样时将 PVC 管 (直径 6.5 cm) 插入虾池环沟区和中央区约 20 cm, 分别截取 2~3 cm 的表层泥样, 然后将其混合并迅速装入密封袋密封, 置于装有冰块的泡沫箱中, 立即运至基地并置于实验室冰箱中, -20℃ 冻存约 1 h, 然后运回实验室即行处理。

收稿日期: 2006-01-13

基金项目: 国家 863 项目 (2002AA603013), 国家自然科学基金项目 (30370276), 福建省科技重点项目 (2004 D23) 资助

作者简介: 王晓颖 (1980 -), 女, 硕士研究生。

* 通讯作者: microzh@jingxian.xmu.edu.cn; wshwzh@jingxian.xmu.edu.cn

1.2 理化因子的测定

盐度、pH值、溶解氧、温度、盐度、硫化物等采用北京桑普生物化学技术有限公司生产的试剂盒“水博士”进行现场测定,其它指标带回实验室进行测定。测定方法参照《海洋监测规范》(国家海洋局 1991)。

1.3 培养基

总异养菌计数参照海洋调查规范(国家海洋局, 1991),采用 2216E 固体培养基;功能微生物培养基参照文献[5]配制:其中弧菌计数采用 TCBS 培养基;淀粉降解菌计数采用淀粉选择性培养基;几丁质降解菌计数采用几丁质选择性培养基;纤维素降解菌计数采用纤维素选择性培养基;硫氧化细菌计数采用排硫选择性培养基;有机磷降解菌计数采用蒙金娜基础培养基(添加卵磷脂作为磷源);无机磷细菌计数采用无机磷选择性培养基(以磷酸钙代替蒙金娜基础培养基中的碳酸钙);油脂降解菌计数采用吐温(Tween)去垢剂的西尔雷氏(Sierra)法培养基。

1.4 计数方法

采用稀释梯度法进行平板计数,取 10 g 混合泥样,放入盛有 90 mL 无菌海水的三角瓶中进行稀释,每个三角瓶中加入 1 mL 0.05% 的 Tween-80 溶液(用以解吸附)制成悬浮液,置于摇床中(转速 150 r/min)旋转 2 h 左右,然后取出静置片刻待泥沙颗粒下沉后,取其上清液 1 mL 进行 10 倍系列稀释(在预实验的基础上选取 3 个合适的稀释度),分别取 0.1 mL 在各种选择性培养基上进行涂布,每个稀释梯度做 3 个平行,培养 3~5 d 后观察平板上的菌落数,取平均值进行计数。

1.5 统计分析

采用 SPSS 统计软件进行相关性分析与检验。

2 结果与分析

2.1 主要理化因子的变化

表 1 不同时期不同虾池主要环境因子的变化

Tab 1 The variation of main environmental factors in the different periods from different shrimp ponds

| 采样时间 | 水温() | 盐度 | 溶解氧(mg · L ⁻¹) | pH | 氨氮(μmol · L ⁻¹) | 亚硝态氮(μmol · L ⁻¹) | 硝态氮(μmol · L ⁻¹) | 总磷(μmol · L ⁻¹) | 硫化物(mg · L ⁻¹) |
|------------|-------|------|----------------------------|-----|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 2003-10-23 | | | | | | | | | |
| 新池 | 24.0 | 16.0 | 8.5 | 8.0 | 5.64 | 0.95 | 8.94 | 0.36 | N. D. * |
| 旧池 | 24.0 | 17.0 | 7.4 | 7.8 | 0.28 | 2.79 | 6.56 | 0.64 | N. D. |
| 11-15 | | | | | | | | | |
| 新池 | 19.2 | 17.0 | 10.5 | 8.7 | 6.26 | 1.20 | 7.25 | 0.49 | N. D. |
| 旧池 | 19.2 | 18.0 | 8.8 | 8.4 | 2.14 | 4.27 | 7.25 | 0.31 | N. D. |
| 12-7 | | | | | | | | | |
| 新池 | 16.0 | 19.0 | 8.5 | 8.4 | 4.61 | 4.82 | 8.65 | 0.41 | N. D. |
| 旧池 | 15.5 | 19.0 | 9.4 | 8.6 | 2.35 | 1.78 | 6.26 | 0.52 | N. D. |
| 12-27 | | | | | | | | | |
| 新池 | 12.8 | 19.0 | 9.0 | 8.2 | 1.93 | 2.22 | 6.13 | 0.47 | N. D. |
| 旧池 | 13.0 | 20.0 | 9.4 | 8.6 | 1.73 | 2.12 | 4.93 | 0.49 | N. D. |
| 2004-01-13 | | | | | | | | | |
| 新池 | 14.0 | 20.0 | 9.2 | 8.8 | 1.73 | 1.96 | 4.46 | 0.11 | N. D. |
| 旧池 | 13.8 | 20.0 | 9.6 | 8.3 | 1.93 | 2.90 | 6.93 | 0.21 | N. D. |
| 02-21 | | | | | | | | | |
| 新池 | 20.0 | 18.0 | 9.5 | 8.8 | 0.08 | 2.07 | 5.33 | 0.36 | N. D. |
| 旧池 | 20.5 | 18.0 | 9.4 | 8.8 | 1.52 | 1.05 | 5.33 | 0.33 | N. D. |
| 03-14 | | | | | | | | | |
| 新池 | 17.5 | 18.5 | 8.5 | 7.6 | 2.14 | 2.43 | 7.28 | 0.14 | N. D. |
| 旧池 | 17.2 | 19.0 | 7.8 | 8.4 | 0.70 | 1.71 | 8.54 | 0.24 | N. D. |
| 04-03 | | | | | | | | | |
| 新池 | 19.2 | 19.5 | 8.0 | 8.0 | 0.49 | 3.64 | 8.77 | 0.21 | N. D. |
| 旧池 | 19.2 | 19.0 | 10.0 | 8.4 | 0.28 | 1.73 | 6.94 | 0.23 | N. D. |
| 04-24 | | | | | | | | | |
| 新池 | 19.0 | 19.0 | 10.1 | 7.9 | 4.82 | 2.72 | 9.29 | 0.21 | N. D. |
| 旧池 | 19.2 | 18.5 | 8.4 | 8.1 | 2.14 | 6.90 | 8.77 | 0.47 | N. D. |
| 05-15 | | | | | | | | | |
| 新池 | 27.5 | 18.0 | 10.0 | 7.9 | 5.85 | 4.94 | 9.83 | 0.38 | N. D. |
| 旧池 | 27.0 | 18.0 | 10.0 | 8.3 | 2.55 | 2.63 | 9.60 | 0.62 | N. D. |

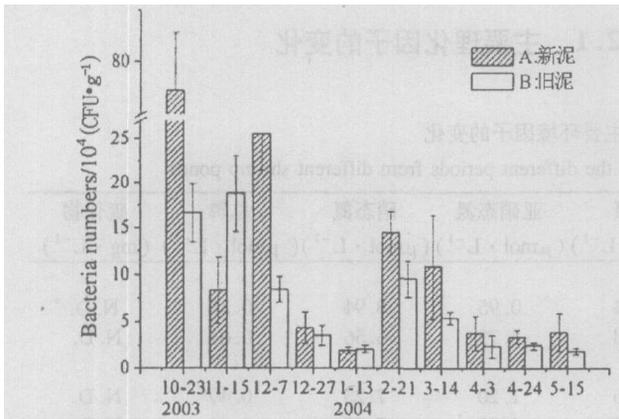
* N. D. 为低于检测限(0.05 mg/L)。

从表 1 可以看出在整个养殖期间,各种理化因子变化幅度均在养殖对虾的耐受范围之内^[6],这与采样期间未发生大规模虾病是相符的。

2.2 养殖进程中总菌、弧菌及各种功能菌数量的动态变化

2003年 10月~2004年 5月连续采样进行细菌的培养计数,所得的各种功能菌以及弧菌的数量变化如下图所示,未放苗前新旧两池的可培养异养菌数量均比较高,清池后数量有所下降,在 12月 7日和 2月 21日出现两个小高峰,但均低于放苗前,波动范围在 $1.95 \times 10^4 \sim 7.7 \times 10^5$ CFU/g 之间 (图 1);淀粉降解菌、有机磷降解菌和可培养异养菌总数变化趋势相似,它们的波动范围分别在 $6.9 \times 10^3 \sim 4.7 \times 10^5$ CFU/g 之间和 $1.63 \times 10^3 \sim 6.67 \times 10^4$ CFU/g 之间 (图 2, 3);而纤维素降解菌的波动趋势和其它功能菌不大相同,

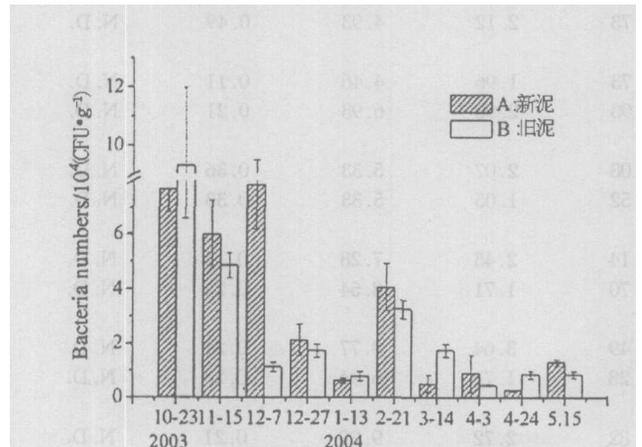
在 12月中旬和 2月中旬达到最大值,波动范围在 $2.6 \times 10^3 \sim 9.3 \times 10^4$ CFU/g 之间 (图 5);无机磷细菌波动范围 $1.4 \times 10^3 \sim 2.5 \times 10^4$ CFU/g 之间,它的小高峰值出现在 12月下旬和 3月中旬,在养殖后期变化幅度不大 (图 4);弧菌数量在整个养殖前期均呈现下降趋势,从 3月初到养殖期结束弧菌数量波动幅度不是很大,整个养殖期波动范围在 $2 \times 10^2 \sim 6 \times 10^4$ CFU/g 之间 (图 6);几丁质降解菌和硫化细菌在整个养殖期的幅度并不是很大,分别在 $8 \times 10^2 \sim 7.4 \times 10^3$ CFU/g 之间和 $2.0 \times 10^2 \sim 4.37 \times 10^3$ CFU/g 之间 (图 7, 8);油脂降解菌变化幅度在 $6.73 \times 10^3 \sim 1.28 \times 10^5$ CFU/g 之间,呈现较大的波动 (图 9),到养殖后期,可培养异养总菌数与各种功能菌数以及弧菌数均处于较低水平。对比整个养殖期新池与旧池表层沉积物的各细菌数可以发现:新池各菌数量一般要高于旧池,这是由于新池的底



Date/month-date

图 1 虾池表层沉积物中可培养异养菌数量变化

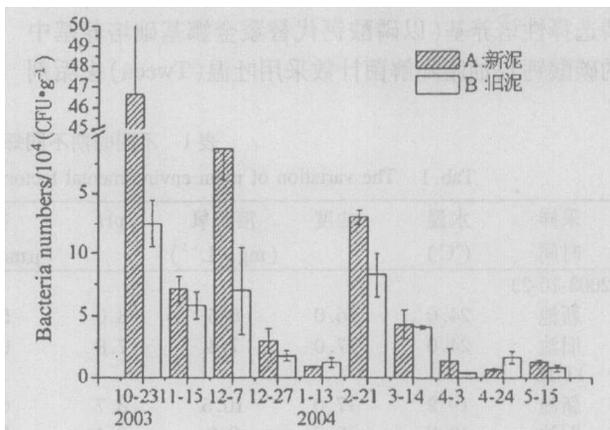
Fig 1 The variation of culturable heterotrophic bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 2 虾池表层沉积物中淀粉降解菌数量变化

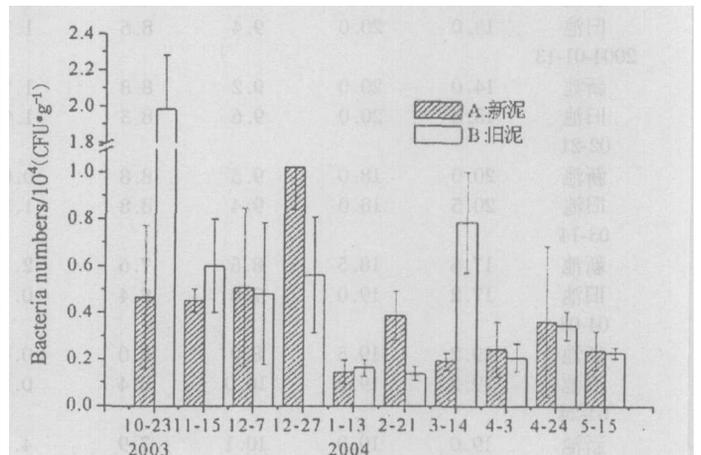
Fig 2 The variation of amylolytic bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 3 虾池表层沉积物中有机磷降解菌数量变化

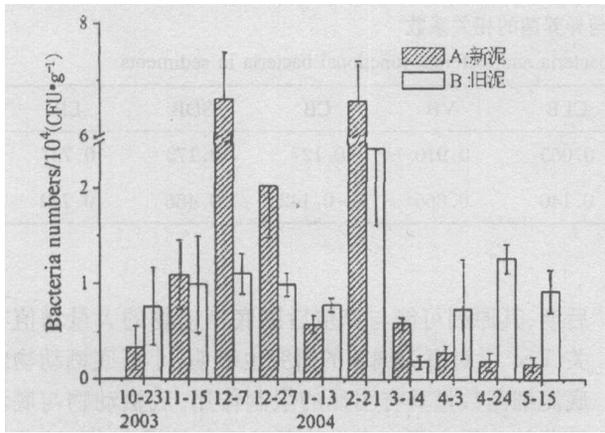
Fig 3 The variation of organic phosphate-solubilizing bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 4 虾池表层沉积物中无机磷溶解菌数量变化

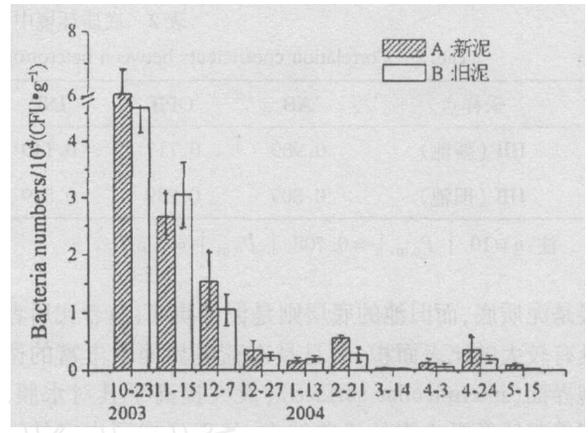
Fig 4 The variation of inorganic phosphate-solubilizing bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 5 虾池表层沉积物中纤维素降解菌数量变化

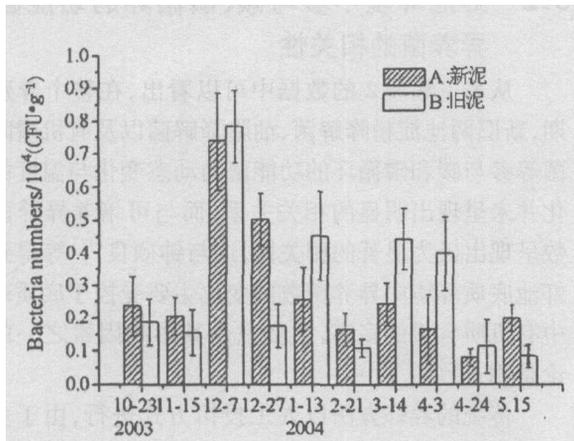
Fig 5 The variation of cellulolytic bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 6 虾池表层沉积物中弧菌数量变化

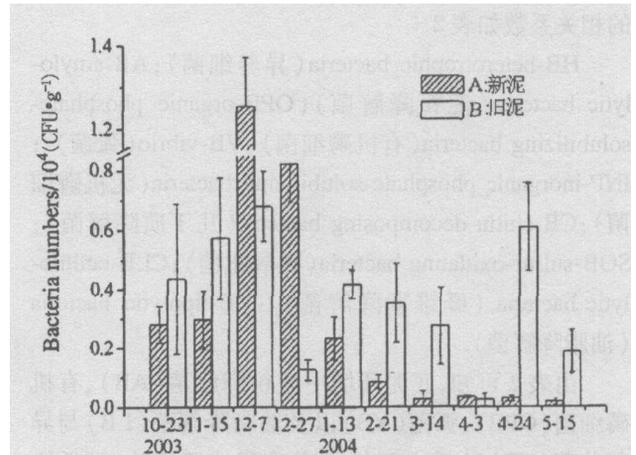
Fig 6 The variation of vibrio numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 7 虾池表层沉积物中几丁质降解菌数量变化

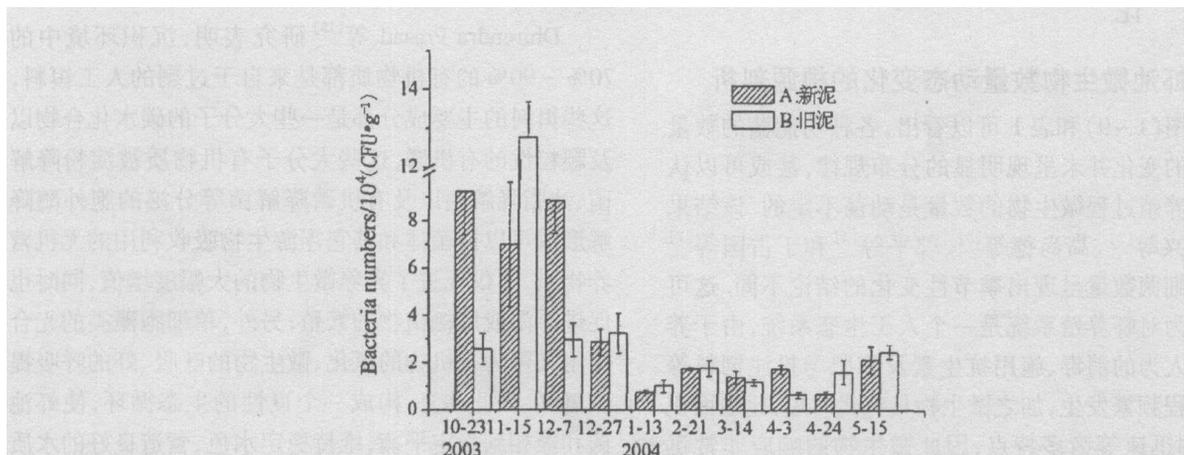
Fig 7 The variation of chitin-decomposing bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 8 虾池表层沉积物中硫氧化细菌数量变化

Fig 8 The variation of sulfur-oxidating bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds



Date/month-date

图 9 虾池表层沉积物中油脂降解菌数量变化

Fig 9 The variation of lipolytic bacterial numbers in the surface sediments of shrimp ponds

表 2 底质环境中各菌与异养菌的相关系数

Tab 2 Correlation coefficients between heterotrophic bacteria and different functional bacteria in sediments

| 采样点 | AB | OPB | NP | CLB | VB | CB | SOB | LB |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| HB (新池) | 0.989 | 0.717 | 0.140 | 0.065 | 0.910 | 0.127 | 0.173 | 0.737 |
| HB (旧池) | 0.809 | 0.839 | 0.549 | 0.140 | 0.866 | -0.142 | 0.486 | 0.722 |

注: $n=10$ $P_{0.01} 5 = 0.708$ $P_{0.05} 5 = 0.576$

层是泥质底,而旧池的底层则是泥沙质底,前者比后者具有较大的比表面积,而且具有荷电界面及丰富的胞界面(intercellular surface),大大提高了其对水膜、营养基质及微生物的承载能力,从而形成了丰富的微生物生境的缘故。

2.3 各菌与可培养异养菌的相关性分析

在养殖期间,对底泥环境中各种功能菌以及弧菌与可培养异养菌之间进行了相关性分析,它们之间的相关系数如表 2

HB-heterotrophic bacteria(异养细菌); AB-amyolytic bacteria(淀粉降解菌); OPB-organic phosphate-solubilizing bacteria(有机磷细菌); VB-vibrio(弧菌); NP-inorganic phosphate-solubilizing bacteria(无机磷细菌); CB-chitin-decomposing bacteria(几丁质降解菌); SOB-sulfuroxidating bacteria(硫氧化菌); CLB-cellulytic bacteria(纤维素降解菌); LB-lipolytic bacteria(油脂降解菌)。

由表 2 可知,底泥环境中淀粉降解菌(AB)、有机磷细菌(OPB)、弧菌(VB)以及油脂降解菌(LB)与异养总菌(HB)数量之间均呈现显著的正相关,而纤维素降解菌(CLB)、几丁质降解菌(CB)、无机磷细菌(NP)以及硫氧化细菌(SOB)则与异养菌(HB)无显著相关关系。

3 讨论

3.1 虾池微生物数量动态变化的根源剖析

从图(1~9)和表 1 可以看出,各种功能菌的数量与季节的变化并未呈现明显的分布规律,甚或可以认为整个养殖过程微生物的数量是动荡不定的。该结果与王文兴等^[2]、高尚德等^[3]、郭平等^[4]和于占国等^[7]的底质细菌数量呈现出季节性变化的结论不同。这可能是因为对虾养殖系统是一个人工生态系统,由于养殖过程人为的消毒、施用抗生素及施肥与投注饲料等生产过程频繁发生,加之微生物具有代时短,比表面积大,代谢迅速等诸多特点,因此微生物的响应非常迅速,导致其数量频繁波动^[8,9]。而我们监测的时间尺度较大,因此很难得出一个微生物时空分布的明确规律。但大体而言,养殖前期的可培养微生物数量高于养殖

后期,其原因可能与养殖后期底栖动物的大量增值有关。Lee^[10]对海泥细菌的研究也表明,小型底栖动物对底泥细菌数量具有明显的限制作用。底栖动物与底泥细菌的关系主要表现为前者对后者的摄食^[11]。这些滤食性的底栖动物不仅摄食了来自于水体的残渣、粪便碎屑,也滤食了底栖的微生物,从而使微生物丰度持续遏制在一个较低的水平;另外,养殖后期人为管理力度的加大也是造成微生物丰度偏低的重要原因之一。

3.2 虾池环境中参与碳、磷循环的功能菌与异养菌的相关性

从表 1 和表 2 的数据中可以看出,在整个养殖周期,新旧两池淀粉降解菌、油脂降解菌以及有机磷降解菌等参与碳和磷循环的功能菌的动态变化与温度的变化并未呈现出明显的相关关系,而与可培养异养菌总数呈现出极为显著的相关性,这与钟硕良^[12]等得到的虾池底质环境中异养菌数的变化主要受控于底质环境中有机质含量的多寡,温度只是其影响因素之一的结论是相一致的。

传统的养虾方法以人工投饵方式进行,由于养殖池水深的限制,养殖过程中外源有机物(过剩的有机饵料)和内源有机物(生物体、排泄物)等大部分沉入池底,其中,除部分被底栖生物利用外,大部分沉积形成淤泥,为异养细菌提供生活场所和代谢底物,使之大量繁殖。

Dhirendra Prasad 等^[13]研究表明,沉积环境中的 70%~90% 的有机物质都是来自于过剩的人工饵料,这些饵料的主要成分都是一些大分子的碳水化合物以及颗粒性的有机磷,这些大分子有机物质被淀粉降解菌、油脂降解菌以及有机磷降解菌等分泌的胞外酶降解形成可以被菌体和其它浮游生物吸收利用的无机营养物质,不仅促进了异养微生物的大幅度增值,同时也促进浮游或底栖植物的繁殖;另外,单细胞藻类的光合作用又可为有机物的氧化、微生物的呼吸、虾的呼吸提供氧气。循此往复,构成一个良性的生态循环,使虾池菌和藻相到稳定平衡,维持稳定水色,营造良好的水质环境,从而起到净化底质环境,改善养殖水质的作用。因此淀粉降解菌、油脂降解菌以及有机磷降解菌与异养细菌的相关性很大程度上反映了虾池底质环境中含

-1,4糖苷键与酯键以及颗粒性有机磷(PP)的有机物的含量与比例较高。

研究还发现新旧虾池中纤维素降解菌、几丁质降解菌以及无机磷溶解菌的丰度偏低,比可培养异养总菌的数量低 1~2 个数量级左右,并且与异养总菌无明显的相关关系。这可能是由于虾池底质的偏碱性环境使无机磷的溶解较难进行,从而使无机磷溶解菌的丰度偏低的缘故;W. Donderski^[14]等研究表明几丁质水解的最佳 pH 为 5.0~6.0,而偏碱性的环境则容易引起几丁质酶的失活或者抑制酶的合成,从而造成调查的几丁质降解菌数量偏低;而纤维素降解菌数量偏低则可能与底质环境中含 -1,4糖苷键的有机物含量较低有关。

3.3 硫氧化细菌与异养菌的相关性

硫氧化细菌能使硫或硫酞的不完全氧化物转化成硫酸等物质,并参与水体和底泥环境中的硫循环,当沉积物中存在大量的硫化物时,硫化物被氧化成硫沉淀于细胞外,从而起到净化底质环境的作用^[15]。

由图 6 和表 2 可知,在整个养殖期,硫氧化细菌菌数数量偏低且与异养菌数之间未呈现显著的相关性。T. JawaharA braham^[15]等利用回归分析考察各环境因子与硫氧化细菌总数的关系,结果表明,硫氧化细菌总数随虾池环境中 DOC 增加而降低,而高尚德^[3]等研究表明底质中的异养细菌数和 DOC 含量呈现正相关关系(理论上硫氧化细菌数应与异养菌数呈现负相关),但硫氧化细菌数量也受控于水体与表层沉积物界面处 H_2S/O_2 的比例以及沉积物中硫化物的含量,因而相关性未必如预期那样明显。

3.4 条件致病菌弧菌总数与异养菌的相关性

一般而言,弧菌有明显的季节性变化特征,在营养丰富环境中生长和繁殖良好。有关学者^[16]通过对比得出,对虾的发病程度和死亡情况与虾池沉积物中弧菌数量有一定的关系。当弧菌数量达到 10^4 CFU/g 时,对虾就可能被感染发病,当然这还要取决于虾池水中氨氮含量和底质水质中的硫化氢含量。如果虾池清淤不好,底质黑变层厚达 7~10 cm 以上,弧菌的数量为 10^3 CFU/g 时,对虾亦会被感染发病。所以,弧菌不仅作为致病因素而存在,同时也是水质有机污染和环境恶化的一个标志。而环境恶化则是对虾发病的诱导因素。

由图 6 我们可以看到,新旧两池泥样中的弧菌数量波动幅度虽然比较大(可能与人为管理有关),但基本上都在 2~4 个数量级,这低于国内研究所得的底质弧菌测定值范围 $2.13 \times 10^3 \sim 8.56 \times 10^4$ CFU/g^[17],同时整个养殖期氨氮含量和硫化氢含量均在水产养殖耐

受范围内,这和虾池在整个养殖周期未发生虾病的情况相符,由此可见,对虾养殖过程中,底质环境中异养菌数尤其是弧菌数控制在较低水平,是预防虾病发生的重要措施。

4 结 语

(1)在整个试验期,虾池内诸理化因子基本未超出渔业水质标准和对虾养殖水质要求,养殖进程中各菌的数量急剧动荡,说明人为管理在对虾养殖中起了决定的作用。

(2)淀粉降解菌、油脂降解菌、有机磷降解菌以及弧菌与可培养异养菌数量呈现显著的正相关,说明各种微生物在虾池生态系的能量和物质转化过程中具有重要的指示作用和意义。它们的动态变化间接反映了整个养殖水体的水质变化情况。

(3)因此,洞悉原位环境优势功能菌的动态变化,结合传统和分子生物学方法进行有益微生物的筛选,对调控养殖水体环境,维持微生态平衡,控制、制衡病原微生物,促进健康养殖有着重要的研究意义。

参考文献:

- [1] 贾俊涛,吕艳,李绮. 对虾围隔生态系底泥中细菌数量动态研究[J]. 动物医学进展, 2003, 24(4): 76 - 78
- [2] 王文兴,叶孝经,牟敦彩,等. 青岛太平角和即墨丰城沿海对虾养殖场异养菌群和条件致病菌的研究[J]. 黄渤海海洋, 1983, 1(2): 68 - 78
- [3] 高尚德,陈旭仁,吴以平. 中国对虾养成期间虾池水体的底质中细菌含量的变化[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 138 - 142
- [4] 郭平,许美美. 对虾养殖池水域环境细菌的动态变化[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(6): 625 - 629
- [5] 陈绍铭,郑福寿. 水生微生物学实验法(上)[M]. 北京: 海洋出版社, 1990
- [6] 曹立业. 关于养虾池水质监测指标的建议[J]. 水产科学, 1996, 22: 154 - 155
- [7] 于占国,林凤翔,贺杰. 异养细菌与虾病关系的研究[J]. 海洋学报. 1995, 17(3): 85 - 91
- [8] Wetzel R. G. Limnology [M]. Philadelphia: Saunders College, 1975
- [9] 刘国才,李德尚,徐怀恕,等. 海水养殖细菌数量动态及细菌生产力的研究[J]. 应用与环境生物学报, 1997, 3(3): 340 - 344
- [10] Lee JI. Advances in Aquatic Microbiology [C]. Droop M R, Jannasch H W. London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press, 1980, 2: 257 - 291
- [11] Moriarty D J W. Bacterial productivity in ponds used for culture of Penaeid Prawn [J]. Microb Ecol, 1986, 12: 259 - 269
- [12] 钟硕良,陈月忠,林克冰,等. 虾池底质中 NH_4^+-N , S^{2-} 和

异养细菌含量的变化及其相关性研究 [J]. 台湾海峡, 1997, 16(4): 449 - 454.

[13] Dhirendra Prasad, Thakur, Kwei L in Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems [J]. *Aquacultural Engineering*, 2003, 2: 59 - 176

[14] Donderski W, Kalwasi ska A. Occurrence and physiological properties of bacterioplankton of lake chenny skie (Poland) [J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2003, 12(3): 287 - 295.

[15] Jawahar Abraham T, Shubhadeep Ghosh, Nagesh T S, et al. Distribution of bacteria involved in nitrogen and sulphur cycles in shrimp culture systems of West Bengal, India [J]. *Aquaculture*, 2004, 239: 275 - 288

[16] 杨庆霄, 蒋岳文, 张昕阳, 等. 虾塘残饵腐解对养殖环境影响的研究. 虾塘底层残饵腐解对沉积物环境的影响 [J]. *海洋环境科学*, 1998, 18(3): 10 - 15.

[17] 倪纯冶, 林燕顺, 叶德赞, 等. 海水养虾池的几种致病弧菌生态 [J]. 台湾海峡, 1995, 3: 74 - 79.

Temporal and Spacial Distribution of Several Functional Bacteria and *Vibrio* in Sediments of Shrimp Culture Ponds

WANG Xiao-ying¹, XI Feng^{2,3}, YUAN Jian-jun⁴, TIAN Yun¹,
WANG Gui-zhong², ZHENG Tian-ling^{1,2*}

(1. Institute of Applied and Environmental Microbiology, School of Life Sciences, Xiamen University,
2. State Key Lab of Marine Environmental Science, College of Oceanography and Environmental Science,
Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Institute of Aquaculture Biotechnology, Jinmei University,
Xiamen 361021, China; 4. Dept of Biology, Quanzhou Normal College, Quanzhou 362000, China)

Abstract: The numbers of culturable bacteria including heterotrophic bacteria (HB), amylolytic bacteria (AB), organ phosphate-solubilizing bacteria (OPB), inorgan phosphate-solubilizing bacteria (IPB), chitin-decomposing bacteria (CLB), lipolytic bacteria (LB), cellulolytic bacteria (CB), sulfur-oxidating bacteria (SOB) and vibrio (VB) in the sediments of shrimp ponds were counted using the plate count methods from October 2003 to May 2004, in a new-built and a fifteen-year old shrimp pond in the East Sea of Quan Zhou, and the correlation between heterotrophic bacteria and other functional bacteria was studied. The numbers of total culturable heterotrophic bacteria ranged from 1.95×10^4 to 7.7×10^5 CFU/g in the new pond and from 2×10^4 to 1.88×10^5 CFU/g in the old pond. Other functional bacteria and vibrio had a big fluctuation with similar to that of heterotrophic bacteria in the whole farming periods, but statistical analysis indicated that AB, OPB, LB and VB had positive correlation with HB, while CLB, CB and SOB had no obvious correlation with HB.

Key words: shrimp ponds; culturable heterotrophic bacteria; functional bacteria; dynamic change; correlation