

粤东大规模海水增养殖区柘林湾浮游细菌的时空分布

马继波 ,董巧香 ,黄长江*

(温州医学院环境与公共卫生学院,浙江 温州 325053)

摘要 2001 年 9 月至 2004 年 12 月对粤东大规模海水增养殖区柘林湾表、底层水体中浮游细菌的时空分布进行调查。结果表明,柘林湾浮游细菌总均值为 $59.4 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$,与国内外富营养化程度较高的内湾海域大致相当。在平面分布上,浮游细菌总体上表现出湾内高于湾外、养殖区高于非养殖区的分布格局,说明大规模增养殖业对浮游细菌的时空分布具有重要的影响,其中网箱养殖的影响尤其显著。湾顶黄冈河口浮游细菌呈现显著的逐年增加趋势,其原因一方面与调查期间降雨减少有关;另一方面可能是受周边陆源污染输入加剧的影响。在周年变化上,浮游细菌表现为典型的单峰型周年变化模式,主要是受水温的调控。年度峰值出现在夏季高温季节(6~8月),低谷出现在冬季低温季节(12~2月)。浮游细菌与溶氧呈现显著意义的负相关关系,但低溶氧可能是湾内养殖区初级生产力低下所致,而非浮游细菌耗氧所为。相反,溶氧降低可能会促进专性或兼性厌氧细菌的增加,使养殖环境进一步恶化。

关键词 柘林湾,浮游细菌,时空分布,温度,溶氧

文章编号:1000-0933(2007)02-0477-09 中图分类号:Q178,X171.5,X55, 文献标识码:A

The temporal and spatial distribution of bacterioplankton in a large scale mariculture located in Zhelin Bay, Eastern Guangdong Province, China

MA Ji-Bo, DONG Qiao-Xiang, HUANG Chang-Jiang*

School of Environmental Science and Public Health, Wenzhou Medical College, Wenzhou 325035, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (2) 0477 ~ 0485.

Abstract: Zhelin Bay is one of the most important bays for large-scale marine culture in Guangdong Province, China. Due to the increasing human population and the expanding mariculture in the last two decades, the ecological environment has changed dramatically, e. g., a large-scale of harmful algal blooms (*Phaeocystis*) frequently occurred. Although degenerative and eutrophic environment has brought huge economic loss and caged-fish culture has become more and more difficult, few studies were followed. From May 2000, our group initiated an ecological investigation around Zhelin Bay, in which we monthly investigated the phytoplankton, zooplankton, bacterioplankton, nutrients, water temperature, salinity and other biochemical parameters. The present study reports the spatial and temporal distribution of bacterioplankton and their relations with water temperature and dissolved oxygen. Samples were collected monthly between September 2001 and December 2003 at nine sampling stations, and quarterly in 2004 at all stations. Each sampling was scheduled to cover high tide (1.5 h). Five liters of water samples were collected with HQM-1 sampling bottles 0.5 m under the surface and 0.5 m above the bottom at each station, and 100ml water from each sample were aliquoted into sterile polyethylene bottles, and

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(021260);广东省自然科学基金资助项目(032047);广东省重大科技兴海资助项目(A200005F02)

收稿日期:2005-12-16;修订日期:2006-05-27

作者简介:马继波(1979~)男,山东泰安人,硕士,主要从事海洋微生物生态学研究. E-mail: jibo_ma@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cjhuang5711@163.com

Foundation item: The project was financially supported by Provincial Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 021260); Provincial Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 032047); Developing Marine Economy Project of Guangdong Province (No. A200005F02)

Received date 2005-12-16; **Accepted date** 2006-05-27

Biography: MA Ji-Bo, Master candidate, mainly engaged in marine microbial ecology. E-mail: jibo_ma@163.com

immediately fixed with 5% formaldehyde (final concentration). Bacterioplankton was stained with Acridine Orange (1g/L), filtered through 0.22 μm polycarbonate filters stained by Irgaian , and counted with a Zeiss Axioplan 2 plus fluorescence microscope (magnification 1000 ×). Temperature , salinity , and dissolved oxygen were determined *in situ* with a portable instrument for water quality analysis (YSI6600-02 , USA). Relations between bacterioplankton abundances and environmental variables were analyzed by means of the linear fit using software Origin 7.0. The total abundance of bacterioplankton varied from 0.7×10^4 cell/dm³ to 540.0×10^4 cell/dm³ , with an overall average of 59.4×10^4 cell/dm³ , which is similar to values reported for other eutrophic estuaries environments across the world. There were no significant differences for their overall averages of bacterioplankton between samples collected on the surface (58.8×10^4 cell/dm³) and at the bottom (60.4×10^4 cell/dm³). Spatially , total abundance of bacterioplankton was greater in samples collected from the inner than outer boundaries of Zhelin Bay , and also was greater in samples collected from caged-fish culture areas than areas without mariculture. In addition , bacterioplankton abundance showed an increase trend over the years within the investigation period. The findings suggest that mariculture may effect the bacterioplankton dynamics in the long run. Temporally , total abundance of bacterioplankton ranged from 1.6×10^4 cell/dm³ to 265.0×10^4 cell/dm³ . Total abundance had a unimodal annual pattern and was greastest in summer (from June to August) and least in winter (from the first year December to February of the second year). The abundance of bacterioplankton was positively correlated with water temperature and negatively correlated with dissolved oxygen. It was possible that the low concentration of dissolved oxygen mainly resulted from low density of phytoplankton but not respiration of bacterioplankton in caged-fish culture areas. On the contrary , low dissolved oxygen could lead to the rapid growth of some specific or compatible anaerobic bacteria in cage culture areas.

Key Words : Zhelin Bay ; bacterioplankton ; temporal and spatial distribution ; water temperature ; dissolved oxygen

在海洋生态系统中 ,浮游细菌既是各种有机物质的分解者和转化者 ,又是物质和能量的贮存者。海洋细菌能直接利用动、植物生命活动过程中和死后分解形成的各类碎屑、生物大分子、氨基酸等 ,在分解过程中释放其所含的营养盐素为海洋植物进行光合作用提供所需的养分。Hagstrom 等的调查发现 ,在贫营养海区被细菌所消耗利用的初级生产力的份额高达 86.5%^[1]。Caron 等认为 ,近岸水体浮游动物仅摄取初级生产量的 20% 左右 ,其余约 40% 分别被浮游和底栖异养细菌消耗^[2] ,这是因为很大一部分的海洋植物无法被植食动物直接利用 ,只有死亡经细菌分解成碎屑后才能成为某些小型动物的饵料。比如 ,受摄食机制的影响 ,甲壳类中占主导地位的中型浮游动物很难直接利用 0.2 ~ 2μm 的浮游植物^[3,4]。在全球性富营养化进程中 ,随着摄食食物链的变细与变短 ,以及微生物环的持续增粗 ,海洋细菌在海洋生态系统中的地位和作用显著增强 ,已成为海洋环境与生态学研究不可缺少的重要内容 ,也是正确评价海洋生态系统结构与功能的重要组成部分^[5~7]。

柘林湾位于广东省东北部闽、粤两省的交界处 ,是一个稳定性比较好的半封闭小型河口湾。该湾良好的避风条件使其水产养殖业迅速发展 ,目前已成为广东省养殖规模最大的海湾之一。然而 ,由于海水增养殖业的无序和过度开发 ,以及人口急速增加、经济活动持续增长和污水处理能力长期滞后等影响 ,上世纪末以来该湾生态系统的结构与功能一直持续恶化 ,养殖业难度不断加大 ,有害赤潮频繁发生 ,对渔业生产和生态环境均造成了严重的负面影响^[8~10]。为了解柘林湾生态系统的现状及其未来演化趋势 ,探索大规模有害赤潮频发的成因 ,以及评估大规模增养殖业对海湾生态系统产生的负面影响 ,本研究小组从 2000 年春季开始对柘林湾生态系统的结构与功能进行了长期的综合调查与现场监测 ,内容涉及水化学因子、底泥营养盐、微生物、浮游植物、浮游动物、重金属和 PAHs 污染等。本文对该综合调查中有关海洋浮游细菌数量的时空分布进行描述 ,并讨论了其与环境理化因子之间的关系。

1 材料与方法

1.1 调查海域状况

有关柘林湾海域状况的详细资料请见蔡爱智^[1]和黄长江等^[12,13]。

1.2 站点布设

采样站位布设如图 1。 S_1 站位于黄冈河口, S_2 站位于三百门港口渔排养殖区, S_3 站位于牡蛎养殖区 (0.5 km²) 边缘处, S_4 站位于牡蛎养殖区中心, S_5 站位于养殖规模为 0.6 万格的网箱鱼排养殖区边缘, S_6 站位于养殖规模为 1 万格的网箱鱼排养殖区中心, S_7 站位于柘林镇与西澳之间网箱鱼排养殖区中心, S_8 站位于湾口外侧, S_9 站位于湾外。站位定点和养殖面积的测定采用 Garmin 公司生产的 GPS12 型全球卫星定位系统。网箱鱼排规模的计算采用现场计数及抽样平均推测。

1.3 采样与分析方法

调查期间为 2001 年 9 月至 2004 年 12 月。其中, 2004 年的调查频率为每季度 1 次, 其余年份的均为每月 1 次。每次调查均于高潮前后 1.5 h 内完成。采样时, 于调查快艇上用 HQM-1 型有机玻璃采水器采集表 (离水面 0.5 m)、底 (离水底 0.5 m) 层水样各 5 L, 将其中 100 ml 水样装于无菌聚乙烯塑料瓶, 立即加入经 0.22 μ m 微孔滤膜过滤的无颗粒甲醛固定, 并使其最终体积浓度为 5%。样品现场密封后带回实验室, 经吖啶橙 (1 g/L) 染色后, 用预先经伊拉克黑染色的孔径为 0.22 μ m 的微孔滤膜过滤后, 在 Zeiss 荧光显微镜 (Axioplan 2 plus) 下计数细菌数量。水样采样装置及容器使用前均用 1:5 的 HCl 浸泡, 再用蒸馏水冲净。水温 (T)、盐度 (S) 和溶解氧 (DO) 等指标用美国 YSI-6600 型水质分析仪现场测定。

1.4 数据处理

浮游细菌所有数据均为实测数据。有关时空分布的年度划分按 2002 年 1 月到 2002 年 12 月为第 1 年度, 2003 年 1 月到 2003 年 12 月为第 2 年度, 2004 年 1 月到 2004 年 12 月为第 3 年度。浮游细菌数量与理化因子的相关分析采用软件 Origin 7.0 进行线性拟合。

2 结果

2.1 浮游细菌数量及其时空分布

2.1.1 数量

调查期间浮游细菌数量实测值变化范围为 0.7 ~ 540.0 $\times 10^4$ cell/dm³, 总均值为 59.4 $\times 10^4$ cell/dm³。其中, 表层水体细菌数量的总平均值为 58.8 $\times 10^4$ cell/dm³, 底层为 60.4 $\times 10^4$ cell/dm³, 两者没有显著差异。

2.1.2 平面分布

表、底层水体中浮游细菌数量的最低值均位于湾外 S_9 站, 表现出湾内高于湾外的基本格局 (图 2)。2002 年湾内表层水体浮游细菌数量的平面分布呈现出由湾顶河口区向湾口递增的态势。最高值出现在中央湾口大规模网箱养殖区中心的 S_6 , 次高值出现在西侧湾口的 S_5 , 而河口 S_1 站的数量比湾外 S_9 站的还低。2003 年湾顶河口区 S_1 和湾顶西部 S_2 两站的浮游细菌数量比上一年有了显著的增加, 2004 年的又比 2003 年的有了进

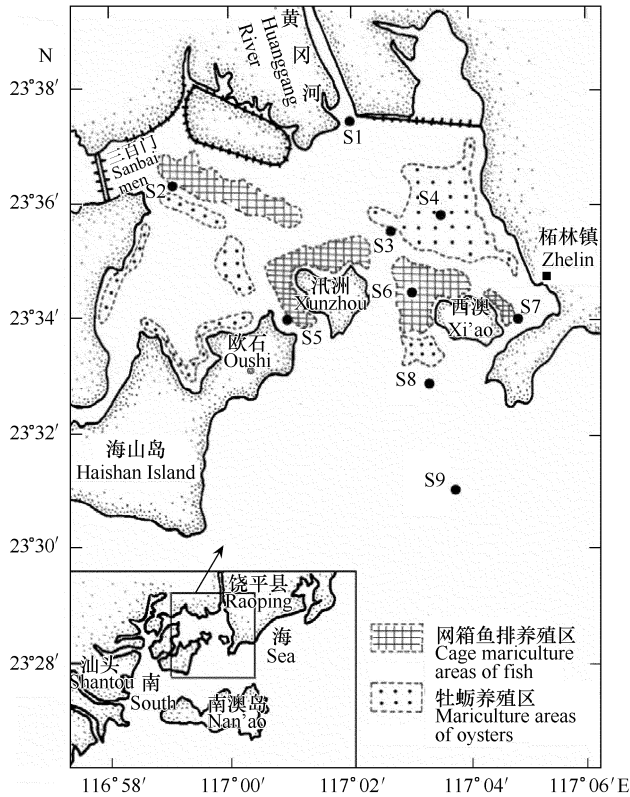


图 1 柘林湾调查站位的分布
Fig. 1 Map of sampling stations in Zhelin Bay

一步的增加。相比之下, S_1 的这种逐年增加的幅度明显比 S_2 的大,表层浮游细菌数量从2002年的 $35.6 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 增加到2004年 $134.2 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$,而底层浮游细菌数量从 $50.9 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 增加到 $153.5 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 。然而,湾内外的其余站位却未见这种逐年递增的态势,年际间的变化幅度也明显较小。因此,2004年湾内表、底层水体浮游细菌数量的最高值均出现在 S_1 站,次高值出现在 S_2 站,由湾内向湾外递减的态势非常明显。在湾内7个调查站位中,无论是表层水体还是底层水体,位于牡蛎养殖区边缘的 S_3 的浮游细菌数量不仅较低,而且年际间的变化幅度也相对较小。

由于调查期间湾内侧浮游细菌数量呈现比较明显的逐年上升趋势,因此,表层水体浮游细菌数量年均值由2002年的 $60.0 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 上升至2004年的 $71.3 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$,增幅为18.3%;底层则由2002年的 $57.2 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 上升至2004年的 $84.4 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$,增幅达到47.4%。

2.1.3 时间分布

调查海区表、底层浮游细菌数量月均值的变化范围为 $1.6 \sim 265.0 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$,总均值为 $59.4 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 。浮游细菌数量的季节变化极为显著,而且表、底层的季节变化趋势基本一致,均表现为典型的单峰型周年变化模式(图3)。年度峰值均出现夏季高温季节的6~8月份,低谷均出现在冬季低温季节的12~2月份。由于2004年为季度调查,周年变化情况比较模糊,但其2月浮游细菌的密度均比前两年度同期要高,11月份浮游细菌密度均高于2001年和2002年同期。

2.2 浮游细菌数量与水温、溶氧的回归分析

将各年度表、底层各站位水体中的浮游细菌数量实测值分别与与之相对应的水温实测值进行回归分析。结果表明,两者之间存在极显著的正相关关系(图4)。

将各年度表、底层各站位水体中的浮游细菌数量实测值分别与与之相对应的溶氧实测值进行回归分析。结果表明,在第1年和第2年度两者之间均存在显著意义的负相关关系,但第3年度表层浮游细菌数量与溶氧不存在具显著意义的相关关系,而底层浮游细菌与溶氧间存在这显著意义的负相关关系(图5)。

3 讨论

海洋浮游细菌主要包括异养细菌和超微型光合原核生物蓝细菌等,因其在微食物环和食物链中的重要作用,一直受到国内外学者的关注[4~16]。目前,国内学者对近岸海域浮游细菌的研究兴趣主要集中在生物量和生产力上,对细菌的数量及时空分布的现场调查报告极少。曾活水等曾于1987年对厦门西海域的浮游细菌数量进行过周年调查,细胞密度为 $44.6 \sim 361.0 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ [17],均值可能大于本调查的 $59.4 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$,但最高值却低于本调查的 $540.0 \times 10^4 \text{ cell/dm}^3$ 。虽然曾活水等的调查比本调查要早10多年,但厦门西海域是一个高度封闭的内港,面积也远小于柘林湾,污染一

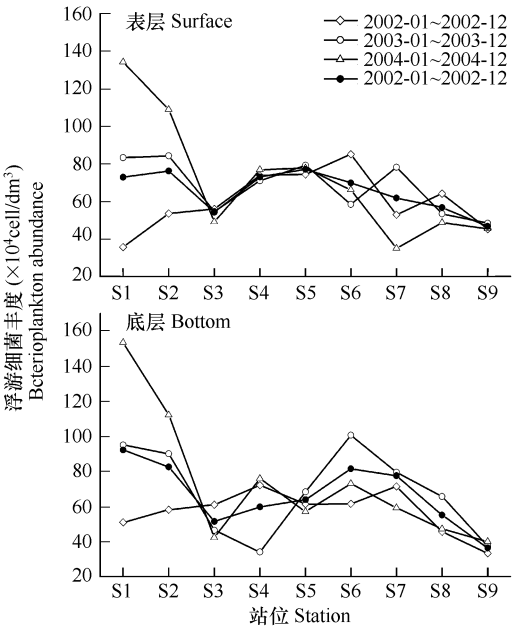


图2 各调查站位浮游细菌数量的周年均值

Fig. 2 Annual average of bacterioplankton abundance at each sampling station

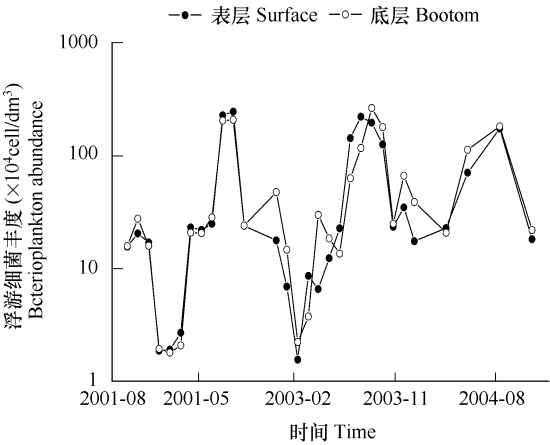


图3 调查海区浮游细菌丰度月均值的时间变化

Fig. 3 Temporal variation of bacterioplankton abundance

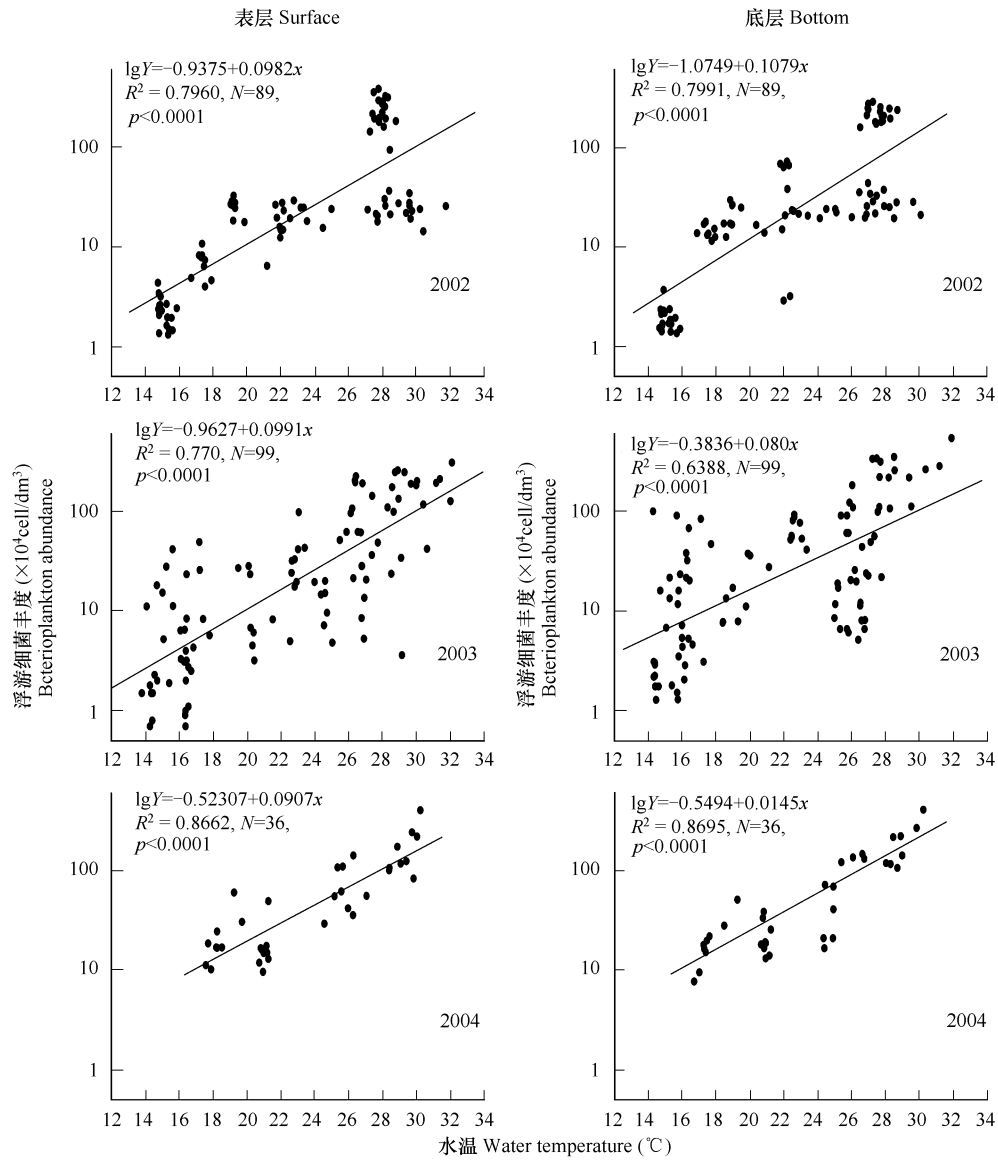


图 4 调查海区 2002 ~ 2004 年浮游细菌丰度与水温的回归分析

Fig. 4 Correlations between bacterioplankton abundance and water temperature on 2002 – 2004

直非常严重^[8]。相比之下,国外对近岸港湾浮游细菌数量的研究较多,但长期的周年调查也很少。Naganuma 等于 1987 年 4 ~ 10 月和 1988 年 2 ~ 4 月对下田湾的浮游细菌进行调查,其数量变化范围为 39 ~ 115 × 10⁴ cell/dm³,均值为 68 × 10⁴ cell/dm³^[9],略高于本调查结果。Naganuma 等又于 1995 年 3、6、9 月和 1996 年 9 月对濑户内海的浮游细菌进行调查,其数量变化范围为 40 ~ 220 × 10⁴ cell/dm³,均值为 90 × 10⁴ cell/dm³^[20],也略高于本调查结果。Eilers 等于 1997 ~ 1998 对欧州北海的浮游细菌进行过每季度一次的周年调查,其数量变化范围为 12 ~ 105 × 10⁴ cell/dm³,均值为 58 × 10⁴ cell/dm³^[21],与本调查结果相近。Grossart 等于 1999 年 2 ~ 3 月对亚洲阿卡巴湾和红海的浮游细菌进行调查,数量变化范围为 9 ~ 128 × 10⁴ cell/dm³,均值为 68.5 × 10⁴ cell/dm³^[6]。由此可见,柘林湾浮游细菌的数量已与国内外富营养化程度较高的内湾海域大致相当,这与该湾养殖业发达和周边地区密集人口的影响关系密切。

柘林湾是一个比较典型的半封闭型海湾,与外界的水体交换完全取决于湾顶的黄冈河口和南面的 3 个湾口。因此,由 S₁、S₃、S₆、S₈和 S₉构成了一条由湾顶河口区到湾外开阔水域的纵向断面(图 1)。这些站位生态群落的构成与数量的差异必然包含了河口、湾内、湾口和湾外等不同地形和水文条件对其影响的不同,也会表

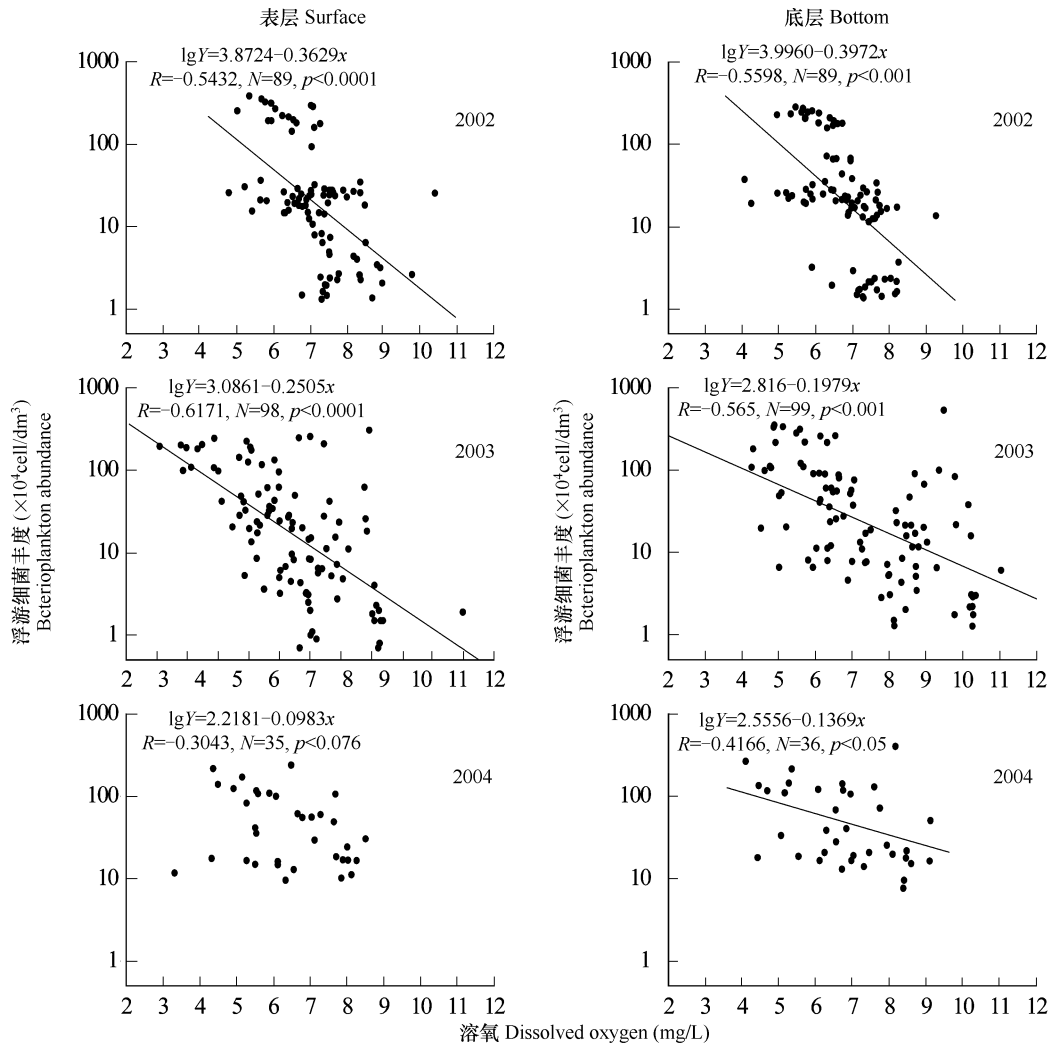


图5 调查海区2002~2004年浮游细菌丰度与溶氧的回归分析

Fig. 5 Correlations between bacterioplankton abundance and dissolved oxygen on 2002 – 2004

现出人类活动(陆源排污、牡蛎养殖、网箱渔排养殖等)对其影响的差异。 S_9 位于湾外最外侧,人类活动对其影响相对较小,其浮游细菌数量低是易于理解的。 S_1 位于河口区,一者受陆源径流稀释的影响,二者其底质含沙量显著高于其余各站^[22],三者离人口密集区和大规模养殖区较远,在常年其浮游细菌数量应该相对较少(如2002年)。然而, S_1 的浮游细菌在2003~2004年却呈现出大幅上升的势头,其原因可能是:(1)受2001~2002年厄尔尼诺现象的影响,粤东地区气温升高,干旱少雨,往年约1800~2000mm的降雨量在2003年和2004年均只有1400mm左右^[23],降雨量减少必然导致河口区来自陆源径流稀释作用的减弱和水体中细菌繁殖基质的增多;(2)2004年该站位浮游细菌的上升主要出现在11月,这一季节细菌数量的上升可能是由于该时期华南地区强冷空气入侵带来的影响^[24];(3)可能是陆源径流的污染呈现逐年加重的趋势。 S_6 位于湾口,受湾外水体的影响应该明显比 S_3 强,但其浮游细菌数量却显著高于 S_3 的,这充分体现了网箱养殖引起的二次污染对水体细菌数量具有重要的影响。首先,调查海区网箱养殖一般都采用直接投喂新鲜小杂鱼的方法,这种投喂方法的饵料利用率较低,残饵和养殖生物的排泄物、残骸等容易成为细菌繁殖的温床^[25~28];其次,关联调查结果表明网箱养殖已导致柘林湾网箱养殖区浮游动物丰度和生物多样性的减少^[12],从而减轻了浮游细菌的被食压力^[29,30]。

在 S_1 至 S_9 这条纵向断面的两侧各分布两个调查站位,东侧为 S_4 和 S_7 ,西侧为 S_2 和 S_5 。 S_5 和 S_7 也位于湾

口,同样受网箱养殖活动的影响,它们的浮游细菌数量也比湾内非养殖区 S_3 的高。 S_4 位于大规模牡蛎养殖区中心,其浮游细菌数量同样明显高于 S_3 的。牡蛎为滤食性贝类,滤食对象可包括浮游植物、有机碎屑、细菌、生物大分子和泥沙颗粒等在内。它们将滤食物质以组织生长、粪便、分泌物等形式重新分配。因此,牡蛎等贝类在滤食水体有机颗粒的同时,也向水体排泄大量的无机营养盐、粪和假粪等^[31]。如果仅考虑贝类的滤食压力, S_4 的细菌数量应该减少,但事实并非如此。这说明贝类养殖过程中产生的粪便等排泄物对细菌繁殖的促进作用大于其摄食压力所带来的抑制效果。长期以来,大规模贝类养殖区的生态环境同样会急速恶化^[32,33]。 S_2 位于湾顶西侧三百门港口渔排养殖区边缘,是调查站位中与外界水体交换能力最差和受人类活动影响最大的站位,其浮游细菌的高值说明浮游细菌数量的高低与水体质量具有密度的关系,是水质优劣的重要指标之一,因为 S_2 的营养盐含量为调查海域最高,而叶绿素 a 含量和浮游动物丰度却最低^[12,13,34,35]。

调查海区浮游细菌数量单峰型的周年变化模式和与水温呈极显著意义的正相关关系均充分说明了水温对浮游细菌数量的重要调节作用,这与其它调查结果一致^[36~39]。除了水温的影响以外,湾内的养殖活动可能也对浮游细菌的生长起到了刺激作用。由于细菌是典型的基质限制性生物,水体中的细菌通常是集聚在悬浮体的表面,特别是细的颗粒上,因为细颗粒具有大的比表面积,同时细颗粒更容易贮存有机质供细菌利用^[40,41]。海水增养殖业产生的残饵碎屑和养殖生物的排泄物与分泌物均可成为浮游细菌大量繁殖的温床。柘林湾海水增养殖模式一般在春季投苗,于 6~10 月份的高温季节达到生长旺季,这一时期的投饵量和养殖动物排泄量均位于全年峰期,充足的养分供应有利于浮游细菌的大量繁殖。因此,高温季节柘林湾水体的浮游细菌的数量均值都在 10^6 cell/dm^3 以上,加上高温、低溶解氧等其它因素的影响,养殖动物极易得病,这就是每年高温季节最易发生水产病害的基本原因。

海洋中溶解氧除少量来自于大气外,主要由浮游植物和水生植物的光合作用产生,蓝细菌和一些光合细菌也起一定作用。徐宁等用围隔试验法研究结果表明,浮游植物光合作用的产氧量占海水池塘溶氧收入的 91.3%~100%,是池塘中溶氧的主要来源^[42]。由于柘林湾浮游植物的丰度和多样性均表现为湾外高于湾内和非养殖区高于养殖区的模式^[34,43],因此,湾内大规模养殖区溶解氧较低可能系浮游植物密度较低所为,而非浮游细菌耗氧所致。相反,溶氧的降低可能为一些专性或兼性厌氧细菌创造了良好的条件,导致水体浮游细菌的增多^[44,45]。其次,溶氧降低与浮游细菌增多的重叠效应可能成为高温季节养殖动物体质下降和病害容易流行的重要原因。

Reference :

- [1] Hagstroem A, Azam F, Andersson A, *et al.* Microbial loop in an oligotrophic pelagic marine ecosystem: Possible roles of cyanobacteria and nanoflagellates in the organic fluxes. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 49 (1-2): 171—178.
- [2] Caron D A, Lim E L, Sanders R W, *et al.* Responses of bacterioplankton and phytoplankton to organic carbon and inorganic nutrient additions in contrasting oceanic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, 2000, 22 (2): 175—184.
- [3] Campbell L, Liu H B, Nolla H A, *et al.* Annual variability of phytoplankton and bacteria in the subtropical North Pacific Ocean at Station ALOHA during the 1991-1994 ENSO event. *Deep-Sea Research I*, 1997, 44 (2): 167—192.
- [4] Letelier R M, Bidigare R R, Hebel D V, *et al.* Temporal variability of phytoplankton community structure based on pigment analysis. *Limnology and Oceanography*, 1993, 38 (7): 1420—1437.
- [5] Weisse T and MacIsaac E. Significance and fate of bacterial production in oligotrophic lakes in British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, 57: 96—105.
- [6] Grossart H P, Simon M. Bacterioplankton dynamics in the Gulf of Aqaba and the northern Red Sea in early spring. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 239: 263—276.
- [7] Gonzalez N, Anadon R, Viesca L. Carbon flux through the microbial community in a temperate sea during summer: role of bacterial metabolism. *Aquatic Microbial Ecology*, 2003, 33: 117—126.
- [8] Huang C J. Red tide: current status and future research. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 1999, 11: 115—118.
- [9] Zhou K, Huang C J, Jiang S, *et al.* 2000—2001 annual dynamics of nutrients in Zhelin Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (12): 2116—2124.

- [10] Chen S W, Gao Y H, Du H, *et al.* First report of *Thalassiosira diporocyclus* bloom in Southeast China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 39 (2) :130—137.
- [11] Cai A Z. The source and environment of sediment in Zhelin Bay of Eastern Guangdong Province. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1994, 33 (4) :515—520.
- [12] Huang C J, Chen S W, He X, *et al.* Ecological study on zooplankton in Zhelin Bay, Eastern Guangdong :2001—2002. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2003, 34 (2) :117—130.
- [13] Huang C J, Du H, Chen S W, *et al.* The temporal and spatial distribution of the nitrogen, phosphorus and silicate in Zhelin Bay :2001—2002. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35 (1) :127—134.
- [14] Xiao T. Ecological study of marine bacterioplankton. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16 (1) :60—64.
- [15] Scavia D. On the role of bacteria in secondary production. *Limnology and Oceanography*, 1988, 33 (5) :1220—1224.
- [16] Sherr E, Sherr B. Role of microbes in pelagic food webs :A revised concept. *Limnology and Oceanography*, 1988, 33 (5) :1225—1227.
- [17] Zeng H S, Lin Y S, Yao R M. The study of the correlation of origin of red tide and bacterial quantity in West Sea Area of Xiamen. *Acta Oceanologica Sinica*, 1993, 15 (6) :105—110.
- [18] Zhou Y Q. Analysis on the sea water pollution state in West Sea Area of Xiamen. *Marine Environmental Science*, 1998, 17 (4) :59—64.
- [19] Naganuma T, Seki H. Abundance and productivity of bacterioplankton in a eutrophication gradient of Shimoda Bay. *Journal of Oceanography*, 1993, 49 (6) :657—665.
- [20] Naganuma T, Miura S. Abundance, production and viability of bacterioplankton in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Oceanography*, 1997, 53 :435—442.
- [21] Eilers H, Pernthaler J, Glockner F O, *et al.* Culturability and in situ abundance of pelagic bacteria from the North Sea. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, 66 (7) :3044—3051.
- [22] Li J, Dong Q X, Du H, *et al.* Spatial and temporal distributions of nitrogen and phosphorus in surface sediments of Zhelin Bay. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23 (4) :63—71.
- [23] Zhang Q, Xiao F J. National drought disaster and its influence. *Natural Disaster Reduction in China*, 2005, 4 :38—40.
- [24] Liu Z K. Persistent drought in autumn in the southern, continuous overcast and rain in the southwest of China. *Meteorology*, 2005, 31 (1) :90—93.
- [25] He Y Q, Zheng Q H, Wen W Y, *et al.* A study on seawater environment affected by cage mariculture in Daya Bay. *Tropic Oceanology*, 1996, 15 (2) :21—27.
- [26] Bradbury N B. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters :a review. *Oceanography and Marine Biology :An Annual Review*, 1987, 25 :563—575.
- [27] Benlloch S, Rodriguez-Valera F, Martinez-Murcia A J. Bacterial diversity in two coastal lagoons deduced from 16S rDNA PCR amplification and partial sequencing. *FEMS Microbiology Ecology*, 1995, 18 (4) :267—280.
- [28] Wallin M, Haakanson L. Nutrient loading models for estimating the environmental effects of marine fish farms. In :Makinen, T. ed. *Marine Aquaculture and Environment*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1991, 22 :39—56.
- [29] Liu G C, Li D S, Dong S L. Zooplankton feeding on bacteria of Shrimp cultural enclosure ecosystems. *Journal of Oceanography of Huang & Bohai*, 2000, 18 (1) :45—49.
- [30] Pedros-Alio C, Brock T D. Assessing biomass and production of bacteria in eutrophic Lake Mendota, Wisconsin. *Applied and Environmental Microbiology*, 1982, 44 (1) :203—218.
- [31] Qin P B, Lu J W. Effect of filter-feeding bivalves on nutrients cycles of mariculture system :a view. *Marine Sciences*, 2001, 25 (5) :27—29.
- [32] Ji R B, Mao X H, Zhu M Y. Impacts of coastal shellfish aquaculture on bay ecosystem. *Journal of Oceanography of Huang & Bohai*, 1998, 6 (1) :21—27.
- [33] Zhou Y, Yang H S, Zhang F S. Biodeposition by sea water bivalve mollusk. *Marine Sciences*, 2003, 27 (2) :23—25.
- [34] Zhou K, Huang C J, Jiang S, *et al.* Annual dynamics of phytoplankton in Zhelin Bay :2000—2001. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (5) :688—698.
- [35] Huang C J, Dong Q X, Wu C W, *et al.* Spatial-temporal distribution of chlorophyll a in the Zhelin Bay—a large-scale maricultural area. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27 (22) :127—134.
- [36] Shiah F K, Ducklow H W. Temperature regulation of heterotrophic bacterioplankton abundance, production, and specific growth rate in Chesapeake Bay. *Limnology and Oceanography*, 1994, 39 (6) :1243—1258.
- [37] Cota G F, Pomeroy L R, Harrison W G, *et al.* Nutrients, primary production and microbial heterotrophy in the southeastern Chukchi Sea :Arctic summer nutrient depletion and heterotrophy. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 135 :247—258.

[38] Rivkin R B , Putland J N , Anderson M R , *et al.* Microzooplankton bacterivory and herbivory in the NE subarctic Pacific. *Deep-Sea Research II* , 1999 , 46 : 2579 — 2618.

[39] He J , Chen B , Kang S H , *et al.* Biomass of bacterioplankton and protists and their ecological importance in the Berlin Sea. *Ocean and Polar Research* , 2004 , 26 (2) : 113 — 120.

[40] Shi J X , Chen Z Y , Ning X R , *et al.* The distribution patterns of bacteria and ATP in the Changjiang River estuary and its adjacent east China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* , 1992 , 23 (3) : 288 — 296.

[41] Goulder R. Attached and free bacteria in an estuary with abundant suspended solids. *Journal of Applied Bacteriology* , 1977 , 43 : 399 — 405.

[42] Xu N , Li D S , Dong S L. Diel balance of DO in mariculture ponds. *Journal of Fishery Sciences of China* , 1999 , 6 (1) : 69 — 74.

[43] Du H , Huang C J , Chen S W , *et al.* Ecological study on phytoplankton in Zhelin Bay , Eastern Guangdong : 2001 — 2002. *Oceanologia et Limnologia Sinica* , 2003 , 34 (6) : 604 — 617.

[44] Meyer-rell L , Koester M. Eutrophication of Marine Water : Effects on Benthic Microbial Communities. *Marine Pollution Bulletin* , 2000 , 41 (1-6) : 255 — 263.

[45] Fisher M M , Klug J L , Lauster G , *et al.* Effects of resources and trophic interactions on freshwater bacterioplankton diversity. *Microbial Ecology* , 2000 , 40 : 125 — 138.

参考文献：

[8] 黄长江. 赤潮研究及其展望. *生命科学* , 1999 , 11 : 115 ~ 118.

[9] 周凯 黄长江 姜胜 等. 2000 ~ 2001 年粤东柘林湾营养盐分布. *生态学报* , 2002 , 22 (12) : 2116 ~ 2124.

[10] 陈善文 高亚辉 杜虹 等. 双环海链藻 (*Thalassiosira diporocy* Hasle) 赤潮. *海洋与湖沼* , 2004 , 39 (2) : 130 ~ 137.

[11] 蔡爱智. 粤东柘林湾的泥沙来源与沉积环境. *厦门大学学报 (自然科学版)* , 1994 , 33 (4) : 515 ~ 520.

[12] 黄长江 陈善文 何歆 等. 2001 ~ 2002 年粤东柘林湾浮游动物的生态学研究. *海洋与湖沼* , 2003 , 34 (2) : 117 ~ 130.

[13] 黄长江 杜虹 陈善文 等. 2001 ~ 2002 年柘林湾大量营养盐的时空分布. *海洋与湖沼* , 2004 , 35 (1) : 127 ~ 134.

[14] 肖天. 海洋浮游细菌的生态学研究. *地球科学进展* , 2001 , 16 (1) : 60 ~ 64.

[17] 曾活水 林燕顺 姚瑞梅. 厦门西海域赤潮成因与细菌量相关性的研究. *海洋学报* , 1993 , 15 (6) : 105 ~ 110.

[18] 周玉琴. 厦门西港海域水质污染状况分析. *海洋环境科学* , 1998 , 17 (4) : 59 ~ 64.

[22] 李金 董巧香 杜虹等. 柘林湾表层沉积物中氮和磷的时空分布. *热带海洋学报* , 2004 , 23 (4) : 63 ~ 71.

[23] 张强 肖风劲. 2004 年全国干旱灾害及其影响. *中国减灾* , 2005 , 4 : 38 ~ 40.

[24] 刘震坤. 华南秋旱持续 西南阴雨绵绵. *气象* , 2005 , 31 (1) : 90 ~ 93.

[25] 何悦强 郝庆华 温伟英 等. 大亚湾海水网箱养殖与海洋环境相互影响研究. *热带海洋* , 1996 , 15 (2) : 21 ~ 27.

[29] 刘国才 李德尚 董双林. 对虾养殖围隔生态系浮游动物对细菌的摄食作用. *黄渤海海洋* , 2000 , 18 (1) : 45 ~ 49.

[31] 秦培兵 卢继武. 滤食性贝类对浅海养殖系统中营养盐循环的影响. *海洋科学* , 2001 , 25 (5) : 27 ~ 29.

[32] 季如宝 毛兴华 朱明远. 贝类养殖对海湾生态系统的影响. *黄渤海海洋* , 1998 , 16 (1) : 21 ~ 27.

[33] 周毅 杨红生 张福绥. 海水双壳贝类的生物沉积及其生态效应. *海洋科学* , 2003 , 27 (2) : 23 ~ 25.

[34] 周凯 黄长江 姜胜 等. 2000 ~ 2001 年柘林湾浮游植物群落结构及数量变动的周年调查. *生态学报* , 2002 , 22 (5) : 688 ~ 698.

[35] 黄长江 董巧香 吴常文 等. 大规模增养殖区柘林湾叶绿素 a 的时空分布. *海洋科学* , 2005 , 27 (22) : 127 ~ 134.

[40] 史君贤 陈忠元 宁修仁 等. 长江口及其附近海域细菌和三磷酸腺苷的分布特征. *海洋与湖沼* , 1992 , 23 (3) : 288 ~ 296.

[41] 徐宁 李德尚 董双林. 海水养殖池塘溶氧平衡的试验研究. *中国水产科学* , 1999 , 6 (1) : 69 ~ 74.

[43] 杜虹 黄长江 陈善文 等. 2001 ~ 2002 年粤东柘林湾浮游植物的生态学研究. *海洋与湖沼* , 2003 , 34 (6) : 604 ~ 617.