

山东威海-日照近岸海域浮游细菌的分布特征

张喆¹, 肖慧¹, 蔡恒江², 于庆云¹, 滕海波¹, 唐学玺¹

(1. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东青岛266003; 2. 大连水产学院海洋环境工程学院, 辽宁大连116023)

摘要: 于2006年8月~2007年10月, 分春夏秋冬四个航次对山东威海-日照近岸海域进行了现场调查, 研究了该海区浮游细菌丰度、生物量及可培养异养细菌生物量的分布特征, 探讨了它们与温度、溶解氧、总有机碳、总N、总P和活性磷酸盐之间的关系。结果表明: 浮游细菌生物量具有一定的时间、空间分布特征, 冬季浮游细菌生物量明显低于其他三个季节, 近岸生物量高于远岸区域; 浮游细菌丰度及生物量与温度、溶解氧、总有机碳呈非常显著相关关系($P < 0.01$); 夏冬季节可培养异养细菌数与总N、总P及 $PO_4\text{-P}$ 均呈现显著相关关系, 表明以上三种环境生态因子可能是该海域可培养异养细菌生长的限制因子。

关键词: 浮游细菌丰度; 细菌生物量; 可培养异养细菌; 环境因子

中图分类号: Q178.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6336(2010)02-0184-05

Distribution characteristics of bacterioplankton in costal waters from Weihai to Rizhao of Shandong

ZHANG Zhe¹, XIAO Hui¹, CAI Heng-jiang², YU Qing-yun¹, TENG Hai-bo¹, TANG Xue-xi¹

(1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Marine Environmental Engineering, DaLian Fisheries University, Dalian 116023, China)

Abstract: The Distribution of bacterioplankton abundance/biomass and cultivable heterotrophic bacteria in the coastal waters from Weihai to Rizhao of Shandong province was studied. The relationships between them and the environmental factors, temperature, total organic carbon, dissolved oxygen (DO), total nitrogen, total phosphorus and active phosphate, were also analyzed. The results showed that the bacterioplankton biomass in winter is much lower than in other seasons, and the biomass in near coast is higher than in far coast. Both bacterioplankton abundance and biomass have highly significant correlations ($P < 0.01$) with temperature, total organic carbon and DO. The results showed that they could be influenced by these environmental factors. The correlation is highly significant between cultivable heterotrophic bacteria and total nitrogen, total phosphorus and active phosphate in summer and winter. The results showed that the three kinds of environmental factors might be the primary limitation factors to the distribution of cultivable heterotrophic bacteria.

Key words: bacterioplankton abundance; bacteria biomass; cultivable heterotrophic bacteria; environmental factors

自从1983年, Azam等提出微食物环的概念以来, 海洋细菌在海洋生态系统中的作用及其影响因素的研究日益受到海洋生态学家们的重视^[1,2]。我国学者于上世纪90年代初广泛开展了对海洋浮游细菌生物量及生产力的研究^[3-5]。对海洋细菌生态分布规律进行研究, 有助于了解海洋细菌在海洋生态系统物质循环和能量流动中的做用, 对于开发、利用和保护海洋资源具有极其重要的意义。本文对山东威海-日照近岸水体浮游细菌丰度、生

物量, 可培养异养细菌数量分布特征等分春、夏、秋、冬四季进行了研究, 并对其与温度、溶解氧(DO)、总有机碳、总氮(N)、总磷(P)及活性磷酸盐($PO_4\text{-P}$)的相关性进行了分析, 以期为该海域细菌学研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 站位设置及采样时间

分别于2006年8月(夏季)、2006年12月(冬季)、

收稿日期: 2008-03-20, 修订日期: 2008-04-28

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0597); 863项目(2007AA09Z416); 公益性行业(农业)科研专项经费子课题(nyhyz07-046)

作者简介: 张喆(1981-), 女, 博士生, 主要从事环境微生物学研究, E-mail: zhangzhe_1981@yahoo.com.cn

通讯作者: 唐学玺, E-mail: tangxx@ouc.edu.cn

2007年4月(春季)及2007年10月(秋季)对山东威海-日照近岸海域浮游细菌丰度、生物量及可培养异养细菌数量进行了调查。调查共设置15个站位(图1),各采样站位水深介于12~33 m,胶州湾内 QD09 站位水深最小,而最大水深则位于站位 QD06。

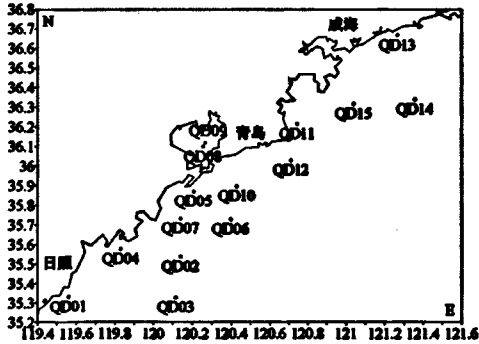


图1 采样站位

Fig. 1 Distribution of sampling stations

1.2 样品采集

按照《海洋生物生态调查技术规程》^[6]中规定的方法,使用击开式采水器(国家海洋技术中心)采集表层(距水面约0.5 m)、底层(距底表不足2 m)水样各50 mL。样品采集使用灭菌采水瓶,样品采集后立即无菌操作注入灭菌螺口瓶,加入无菌甲醛固定(甲醛在样品中的质量浓度为2%),于4℃避光保存。水温、水深、盐度及溶解氧使用温盐深仪(CTD)现场直接测出。

1.3 样品分析

可培养异养细菌总数:采用 ZoBell 2216E 平板涂布培养计数方法计数。选取平均菌落数在30~300之间的平板,计数菌落形成单位数(CFU),整个过程无菌操作^[7]。

浮游细菌丰度测定及生物量换算:将海水样品低压(<267 Pa)过滤在孔径0.22 μm的黑色核孔滤膜(Millipore)上并使用 DAPI (Roche) 染色。在 U-LH100HG 型倒置荧光显微镜(Olympus)下进行细菌计数,使用340~370 nm之间的紫外光激发,具体方法参照文献^[8]。在10×100倍镜下计数发射蓝色荧光细菌数,计数10个视野,每个视野计数不小于30个菌体。后将视野细菌数量转换为每升实际细菌细胞数即为浮游细菌丰度,使用 Imagepro7.0 软件对细菌体积进行测量,后参照《海洋生物生态调查技术规程》所列公式计算出浮游细菌生物量,单位 μg/L^[6]。

使用 SPSS 13.0 软件中的 Correlate 程序对可培养异养菌数、浮游细菌丰度及生物量与环境因子之间的相关性进行分析。

2 结果与讨论

2.1 浮游细菌丰度分布特征

调查海域春、夏、秋、冬四季浮游细菌丰度平均分别为 5.56×10^9 、 4.8×10^9 、 3.22×10^9 和 1.38×10^9 /L,最大

值出现在春季威海近岸海域 QD13 站位。各站位浮游细菌丰度季节变化较为明显(图2),在大多数站位呈现出春季浮游细菌丰度大于其它季节的趋势,而夏、秋季浮游细菌丰度变化则没有明显的规律性,这一结果可能与春季藻类大量繁殖有关。

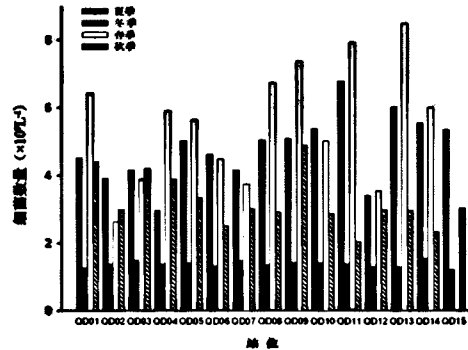


图2 各站位浮游细菌数年变化

Fig. 2 Seasonal variation of bacterioplankton abundances at different stations

在某些海区,除夏季以外,特别是当水温低于14℃时,水温可能是调节水体中浮游细菌生长的主要因素^[9]。本次调查中,冬季水温最高值11.19℃,比最低值高约4℃。研究海域浮游细菌丰度最低值出现在冬季,且冬季各站位之间细菌丰度波动不明显。各站位水温普遍低于10℃,且站位之间水温差异不大可能是造成这种现象的主要原因。

2.2 细菌生物量分布特征

除春季 QD15 站位样品未能采集外,调查海域各季节生物量为(14.79~131.34) μg/L,最高值出现在春季 QD11 站位(表1)。从季节变化来看,所有站位生物量平均值在夏、春季节均大于秋、冬季节;其中,各站位细菌生物量最低值均出现在冬季,73% 站位细菌生物量最高值出现在春季,秋季比冬季略高。秋冬季节不同站位之间生物量波动不大;而夏、春季节各站位生物量有明显波动,规律不明显,但各站位间夏季与春季生物量平均值具有相似的变化趋势。从浮游细菌生物量的水平分布来看,在大多数站位近岸海域要高于远岸海域;一般靠近海湾沿岸区域要高于周边海区。

2.3 可培养异养细菌数

山东近岸水体各季节表层及底层水可培养异养细菌数介于 1.01×10^4 ~ 6.27×10^7 CFU/L,季节间波动较大,且没有明显的规律。各站位可培养异养菌数平均值最高出现在夏季 QD15 站位(表1),与最小值相差三个数量级。

3.3 细菌生物量、可培养异养细菌数量分布与环境生态因子的相关性

影响海洋浮游细菌生物量的主要环境因素包括水温、有机物的性质和浓度、无机营养盐和一些微量元素

表1 不同季节各站位细菌生物量及可培养异养细菌数量

Tab. 1 Bacterioplankton and cultivable heterotrophic bacteria biomass at different stations in the four seasons

站位	浮游细菌生物量/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$				可培养异养细菌数量/ $\times 10^5 \text{CFU} \cdot \text{L}^{-1}$			
	夏季	冬季	春季	秋季	夏季	冬季	春季	秋季
QD01	72.68	20.75	89.18	38.24	20.56	12.94	2.68	9.85
QD02	53.67	22.09	40.94	28.09	22.58	2.69	0.33	1.09
QD03	66.33	21.26	55.99	41.00	20.20	0.81	1.68	3.75
QD04	42.51	19.46	80.91	44.14	1.16	13.97	1.73	3.45
QD05	72.20	20.40	78.22	29.71	10.76	19.29	0.66	11.25
QD06	63.34	18.79	66.73	23.47	0.51	0.39	0.18	1.50
QD07	56.39	21.33	51.50	26.93	1.83	12.73	1.34	2.71
QD08	80.25	20.07	105.59	28.22	4.04	41.16	4.58	6.40
QD09	71.27	19.43	121.80	56.74	2.17	151.36	7.22	4.39
QD10	83.66	19.21	69.98	31.99	5.61	54.04	2.16	0.94
QD11	104.99	19.35	125.47	21.50	3.03	13.43	2.06	1.55
QD12	46.73	18.13	54.19	29.61	1.16	10.14	1.11	0.34
QD13	78.86	17.42	116.66	32.41	63.99	86.01	4.38	15.42
QD14	93.28	22.70	75.16	22.42	6.21	7.42	0.51	1.09
QD15	72.68	17.60	—	27.36	363.79	14.55	—	2.79

浓度^[10]。论文选取夏冬季节浮游细菌丰度、生物量及异养细菌数与温度、DO、总有机碳、总N、总P及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 进行相关性分析,结果见表3。

温度是影响细菌生长的重要环境因子。本次调查海域夏季平均水温为23.2℃,是冬季水温平均值的2.5倍;而海域浮游细菌丰度及生物量与水温呈显著正相关关系($P < 0.01$),与以往黄海水域研究结果一致^[11,12],在其他一些海域的研究也发现了同样的结果^[13,14]。

表3 细菌丰度/生物量、异养细菌数与环境生态因子的相关性

Tab. 3 Correlation between bacteria abundance/biomass, heterotrophic bacteria and environmental factors

环境生态因子	细菌生物量	浮游细菌丰度	可培养异养细菌数
温度	0.763**	0.798**	0.017
DO	-0.722**	-0.779**	0.269
总有机碳	0.477**	0.544**	0.079
总N	-0.095	-1.03	0.525**
总P	-0.707	-0.571	0.425**
$\text{PO}_4\text{-P}$	-0.700	-0.672	0.390**

注: **表示 $P < 0.01$ 水平下非常显著相关,其它均为 $P > 0.05$,相关性不明显。

与此同时,浮游细菌丰度及生物量与海域溶解氧含量呈现非常显著负相关关系,与总有机碳含量则呈现非常显著正相关关系,这与浮游细菌在生长繁殖过程中降解有机质、消耗溶解氧有关,溶解氧含量的大小会影响调查水域微生物群落结构和生态功能。可培养异养细菌数与总N、总P及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 均呈现非常显著正相关关系,表明上述三种环境生态因子可能是该海域可培养异养细菌生长的限制因子。

3 结论

(1)由2006年8月~2007年10月山东威海-日照近岸水体分季节调查数据来看,水域浮游细菌丰度及生

物量同时受到水温、溶解氧和总有机碳的影响制约;在细菌生物量的空间分布来看,近岸海域细菌生物量要大于远岸海域,一般靠近海湾的沿岸区域要高于其它沿岸区域,这可能与沿岸河流入海,污染物排放及人类活动有关。

(2)海区浮游细菌丰度及生物量存在比较明显的季节变化,冬季浮游细菌丰度及生物量最低,这主要是由于冬季水温较低,细菌代谢速率降低所致;海区春季浮游细菌丰度及生物量最高,则可能与春季藻类大量繁殖有关。

(3)夏冬季节可培养异养细菌数与总N、总P及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 均呈现非常显著正相关关系,表示这三种环境生态因子可能是该海域可培养异养细菌生长的限制因子。

参考文献:

- [1] AZAM F, FENCHEL T, FIELD J G, et al. The ecological role of water column microbes in the sea[J]. Marine Ecology Progress Series, 1983, 10: 257-263.
- [2] 肖天. 海洋细菌在微食物环中的作用[J]. 海洋科学, 2000, 24(7): 4-6.
- [3] 宁修仁, 库蒂 C. 长江口及冲淡水区叶绿素 a、细菌、ATP、POC 及微生物呼吸作用速率之间的关系[J]. 海洋学报, 1991, 13(6): 831-837.
- [4] 林燕顺, 曾活水. 太平洋和南极普里兹湾及其临近海域中微生物量的分布特征[J]. 海洋学报, 1998, 20(6): 81-86.
- [5] 郑天凌, 徐美珠. 台湾海峡海域细菌产量、生物量及其在微食物环中的作用[J]. 海洋与湖沼, 1992, 13(3): 288-295.
- [6] 国家海洋局. 海洋生物生态调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006. 14-18.
- [7] 薛延耀. 海洋细菌学[M]. 北京: 科学出版社, 1962.
- [8] PORTER K G, FEIG Y S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora[J]. Limnology and Oceanography, 1980, 25(5): 943-948.

(下转第190页)

(上接第186页)

- [9] LI W K W. Annual average biomass of heterotrophic bacteria and *Synechococcus* in surface ocean waters [J]. *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(7): 1754-1753.
- [10] 白洁, 张昊飞, 李岩然, 等. 海洋异养浮游细菌生物量及生产力的制约因素 [J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34(4): 595-602.
- [11] 赵三军, 肖天, 岳海东. 秋季东、黄海异养细菌 (heterotrophic bacteria) 的分布特点 [J]. *海洋与湖沼*, 2003, 34(3): 295-305.
- [12] 李洪波. 南黄海浮游细菌的分布特点与水文现象的影响研究 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2005.
- [13] 郑天凌, 王斐, 徐美珠, 等. 台湾海峡海域细菌产量、生物量及其在微食物环中的作用 [J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4): 415-422.
- [14] 周伟华, 王汉奎, 董俊德, 等. 三亚湾秋、冬季浮游植物和细菌的生物量分布特征及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2006, 26(8): 2633-2639.