

文章编号: 1674 - 5566(2011)03 - 0437 - 08

枸杞岛海域春季异养浮游细菌和生态环境因子关系初步研究

刘卫云, 章守宇, 王 凯, 陈清满

(上海海洋大学 海洋科学学院, 海洋生态系统与环境实验室, 上海 201306)

摘 要: 为了查明海藻场和贻贝养殖场中均以 γ 变形菌为优势种的异养浮游细菌发挥不同生态作用的环境条件是否相同, 以 2009 年 5 月底晒海藻和养殖贻贝快速生长期的实验数据为基础, 研究枸杞岛海域表层水体异养浮游细菌与生态环境因子之间的关系。结果显示: 春季异养浮游细菌在海藻场海域、贻贝养殖区海域和过渡海域丰度均值分别为 1.60×10^8 个/L、 1.21×10^8 个/L 和 1.56×10^8 个/L, 水平分布为海藻场高于过渡区域高于贻贝养殖场, 且藻场中细菌数量约为贻贝场中的 1.33 倍。海藻场中异养浮游细菌与叶绿素显著正相关, 与铵盐也呈现一定的相关性, 这主要归因于大型海藻主要利用硝酸盐而浮游植物与细菌共同竞争铵盐, 导致铵盐浓度降低, 铵盐成为影响异养浮游细菌生长的限制因子; 过渡海域异养浮游细菌和铵盐显著负相关, 与溶解有机碳呈正相关; 贻贝养殖区中细菌与生态环境因子的关系不明显。因此, 叶绿素、铵盐、溶解有机碳是枸杞岛海域春季藻场内外海域制约异养浮游细菌现存量的重要控制因子。

研究亮点: 本文以异养浮游细菌优势种均为 γ 变形菌的天然海藻区和人工贻贝养殖场为研究区域, 首次在不同生境海域开展异养浮游细菌生态作用的调查, 试图理清不同生态群落的存在对异养浮游细菌发挥生态作用的影响机制, 为近岸典型生境中微食物环的构建提供依据。

关键词: 异养浮游细菌; 环境因子; 相关性; 海藻场; 贻贝养殖场

中图分类号: S 931.3

文献标志码: A

自 Azam 等提出“微食物环”的概念以来, 异养浮游细菌在海洋生态系统中的作用备受人们的重视。异养浮游细菌不仅作为分解者维持着整个群落的平衡与稳定性, 同时也作为生产者直接利用浮游动物不能利用的溶解有机物 (Dissolved Organic Matter, DOM), 起着提高该生态系统总生态效率的作用。因此, 海洋异养浮游细菌的生存及生命活动决定着该海域食物链基本环节的发展^[1-2], 并影响着该海域生态群落的存在类型及其表现特征。尽管国内外学者已广泛开展了海洋浮游细菌的生物量 and 生产力等相关研究^[3-5], 但针对特定海洋生态群落的浮游细菌研究并不多见。

本研究区域为枸杞岛周边海域, 其位于舟山群岛东北部, 是马鞍列岛的重要组成部分。岛周

边海域潮间带和潮下带形成马尾藻场, 藻场内栖息着大量的幼小魚、虾和蟹类, 渔业资源丰富。藻场外有大量贻贝筏式养殖, 养殖种类为紫贻贝。天然海藻场和人工贻贝养殖场共同构成了枸杞岛周边海域较为特殊的生态系统类型。鉴于异养浮游细菌在海洋生态系统中的特殊地位, 在开展岛礁典型生境研究中有必要查清小尺度生境中异养浮游细菌在整个生态过程中的作用, 为近岸典型生态系统中微食物环构建提供依据, 丰富异养浮游细菌生态学研究内容。

1 材料与方法

本文拟通过大型底栖海藻和养殖贻贝生长较为快速的春季调查数据为基础, 探索该季节枸杞岛东南部海藻场和贻贝养殖场海域的异养浮

收稿日期: 2010-06-01 修回日期: 2011-01-20

基金项目: 国家“八六三”计划项目(2006AA100303); 国家自然科学基金(NSFC30871924); 上海市教育委员会重点学科建设项目(J50702)

作者简介: 刘卫云(1983—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态系统工程。E-mail: yihanyun@126.com

通讯作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

游细菌丰度与水温、盐度及营养盐、叶绿素等环境因子的相互关系。

1.1 采样站位

采样区域位于枸杞岛东南方,受岛上山体分布影响,岸上靠采样区域侧无人居住,陆源污染较少,水质较好。采样于2009年5月进行,采样区域垂直岸礁依次为海藻场、过渡区、贻贝场,每一类型设置3个采样站点,详见图1:KS_x是海藻场采样点;MS_x是贻贝养殖场采样点;S_x是过渡区采样点。

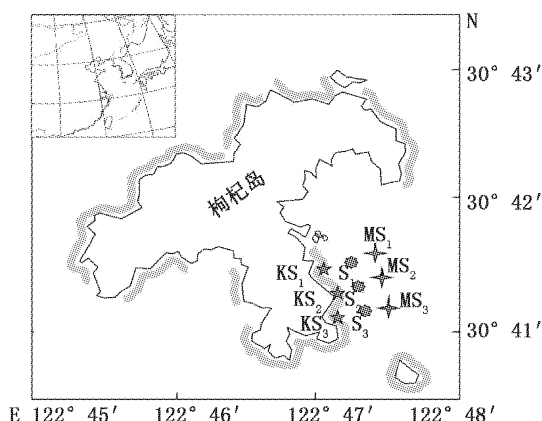


图1 采样站位图

Fig. 1 Map of the sampling stations

1.2 样品采集和处理

1.2.1 水样采集和预处理

用WB-PM 5L采水器分别采表层0.5 m处水样,进行异养浮游细菌、叶绿素a、无机营养盐和溶解有机碳(Dissolved Organic Carbon, DOC)的测定。用于细菌计数的水样采集后立即注入预先处理过的装样瓶中,加戊二醛溶液(终浓度为1%)固定,经液氮速冻后放入装有冰块的工作箱低温保存,带回实验室测定,若不能立即测定将其保存在-80℃超低温冰箱。营养盐所用水样根据海洋调查规范进行预处理。

1.2.2 测定异养浮游细菌总数

采用荧光染色计数法进行^[6],样品用DAPI染色,经0.22 μm黑背景聚碳酸酯滤膜过滤,在Nikon Eclipse 80i高级荧光相差显微镜蓝光道、油镜条件下,随即选取20个视野计数细菌形态呈亮绿色的细胞数(每个视野以20~50个细菌为宜)。每次测定时,应加测不加样品的空白对照。

参照2006年海洋化学调查技术规范计算样

品含菌量

$$N_B = \frac{N_a \times S}{S_f \times (1 - 0.05) \times V} \quad (1)$$

式中: N_B 为样品含菌数(个/L); N_a 为各视野平均菌数(个); S 为滤膜实际过滤面积(mm^2); S_f 为显微镜视野面积(NIS-Element软件测量)(mm^2); V 为过滤样品量(式中0.05为加入戊二醛占固定样品总体积的比例,L)。

1.2.3 DOC和营养盐测定方法

测定溶解有机碳的水样经0.45 μm滤膜抽滤后,其滤液在Liqui TOC II总有机碳分析仪测定。营养盐浓度参照海洋调查规范:即亚硝酸盐浓度测定采用重氮-偶氮法;硝酸盐浓度测定采用锌镉还原法;铵盐浓度测定采用次溴酸盐氧化法;磷酸盐浓度测定采用磷钼蓝法。

1.3 环境因子的测定

同步进行水温、水深、盐度、pH和溶解氧等环境参数的测定,使用仪器为ALEC-AAQ1186水质监测仪。

1.4 数据分析

运用SPSS 16.0和surfer软件对本实验中的数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 春季水环境因子监测结果

春季各站点的表层水温、溶解氧和盐度等水环境因子监测结果见表1。可知,在海藻场、贻贝养殖场和过渡海域,表层水温和盐度差异较小,温度相差最大仅为0.34℃,盐度相差最大为0.434。溶解氧指溶解在水中的氧,是水质好坏的重要指标之一,溶解氧含量在海藻场浓度为8.424~8.598 mg/L,平均值为8.490 mg/L;贻贝养殖区溶氧浓度为8.559~8.771 mg/L,平均值为8.695 mg/L,MS_x海域溶氧含量略高于KS_x海域,总体上说溶氧在不同站点的变化虽然不大,但相对于“水体中鱼类正常生活所需溶氧量应大于4 mg/L”^[7]而言,该区域溶氧含量使水中生物正常生活得以保证。透明度值在不同采样点有所差异,总体上MS_x海域和S_x海域高于KS_x海域,体现养殖贻贝对浮游植物的滤水摄食增大了海水的透明度,由单因素方差分析得知KS_x海域和MS_x海域透明度具有显著差异性($P < 0.05$),统计分析结果见表2。

表 1 枸杞岛海域春季水环境因子监测结果

Tab.1 Environmental parameters in the area of Gouqi Island in spring

采样站点	表层水温/°C	溶解氧/(mg/L)	盐度	透明度/m
KS _x	16.82 ~ 16.88 (16.85)	8.424 ~ 8.598 (8.490)	29.072 ~ 29.143 (29.117)	3 ~ 4.2 (3.57)
S _x	16.88 ~ 17.16 (17.00)	8.593 ~ 9.446 (8.946)	28.885 ~ 29.013 (28.957)	4.2 (4.2)
MS _x	16.9 ~ 17.08 (16.96)	8.559 ~ 8.771 (8.695)	28.709 ~ 29.107 (28.934)	4.2 ~ 4.7 (4.53)

注:括号内数据为平均值。

表 2 各站点透明度方差分析

Tab.2 Variance analysis of transparency

	(I) 站点	(J) 站点	平均差异 (I-J)	标准差	显著性	95% 置信区间	
						下限	上限
LSD	KS _x	S _x	-0.633 333	0.315 054	0.091	-1.404 24	0.137 58
		MS _x	-0.966 667 *	0.315 054	0.022 *	-1.737 58	-0.195 76
	MS _x	KS _x	0.966 667 *	0.315 054	0.022 *	0.195 76	1.737 58
		S _x	0.333 333	0.315 054	0.331	-0.437 58	1.104 24

注: * 表示 $P < 0.05$, 检验显著。

2.2 春季异养浮游细菌和营养盐浓度

2.2.1 春季异养浮游细菌丰度和生态环境因子浓度分布

春季表层水体异养浮游细菌丰度和生态环境因子浓度分布见表 3, 异养浮游细菌现存量的变化范围为 $0.41 \times 10^8 \sim 3.08 \times 10^8$ 个/L, 最高值出现在 KS₃ 站位, 最低点出现在 S₃ 站位。藻场海域异养浮游细菌平均现存量 1.6×10^8 个/L, 而在过渡海域中为 1.21×10^8 个/L, 在前者异养细菌丰度大于后者; 叶绿素浓度在 KS_x、S_x 和 MS_x 海域的平均值分别为 7.33 mg/L、7.01 mg/L 和 6.64 mg/L, 与异养浮游细菌变化趋势基本一致,

而溶解有机碳含量却呈现与异养浮游细菌变化相反的趋势, KS_x 海域中 DOC 含量低, 平均值为 7.51 mg/L, MS_x 海域中 DOC 含量较高, 平均值为 9.37 mg/L; 磷和硝酸盐含量在不同站点变化范围较小, 平均值变化范围分别是 $0.5 \sim 0.6 \mu\text{mol/L}$ 和 $32.23 \sim 32.61 \mu\text{mol/L}$ 。亚硝酸盐含量和铵盐含量在 KS_x 和 MS_x 海域中浓度相差比较大, 贻贝养殖区亚硝酸盐和铵盐浓度约为藻场中的 1.53 倍。表明叶绿素可能是春季枸杞岛东南部海域异养浮游细菌丰度在不同站点变化的主要影响因素, 亚硝酸盐、铵盐和溶解有机碳也与异养浮游细菌有一定的相关性。

表 3 春季表层水体异养浮游细菌丰度和生态环境因子浓度统计表

Tab.3 Statistics of heterotrophic bacterioplankton abundance and ecological environmental parameters on the surface water in spring

站点	异养浮游细菌丰度 (10^8 个/L)	叶绿素 (mg/L)	磷酸盐 ($\mu\text{mol/L}$)	硝酸盐 ($\mu\text{mol/L}$)	亚硝酸盐 ($\mu\text{mol/L}$)	铵盐 ($\mu\text{mol/L}$)	溶解有机碳 (mg/L)
KS _x	0.66 ~ 3.08	7 ~ 8	0.46 ~ 0.54	30.83 ~ 33.53	0.06 ~ 0.26	0.12 ~ 3.34	6.97 ~ 8
平均值	1.6	7.33	0.51	32.23	0.17	1.6	7.51
S _x	0.41 ~ 2.44	6 ~ 8.67	0.47 ~ 0.57	31.8 ~ 32.43	0.19 ~ 0.31	0.95 ~ 3.36	7.04 ~ 9.22
平均值	1.56	7.01	0.5	32.18	0.24	1.47	8.22
MS _x	0.66 ~ 1.7	5.67 ~ 8	0.55 ~ 0.68	32.12 ~ 33.23	0.22 ~ 0.28	0.35 ~ 3.67	9.24 ~ 9.5
平均值	1.21	6.64	0.6	32.61	0.26	2.46	9.37

2.2.2 异养浮游细菌和营养盐浓度水平分布

由图 2 可知, 春季表层水体中异养浮游细菌丰度水平分布特征为近岸海藻场高, 最高值为海藻场 KS₃ 站位, 为 3.08×10^8 个/L, 藻场外海域丰度较低, 细菌丰度总体呈现海藻场向藻场外贻贝

场变小的趋势。表层水体叶绿素浓度分布也呈现出相同趋势, 叶绿素含量在 KS₃、KS₂、KS₁ 和 S₁ 站位形成高值区, 分别为 8、7、7 和 8.667 mg/L, 最低值出现在 MS₃ 站位, 为 5.667 mg/L。铵盐浓度变化趋势如图中箭头方向减小, 在 KS₃、S₃、MS₃

站点形成高值区,浓度值分别为3.34、3.36、3.67 $\mu\text{mol/L}$ 。水体中溶氧含量在藻场和贻贝养殖区

稍低于过渡区,这说明藻场中浮游生物和贻贝养殖区中生物活动频繁,对溶解氧的需求量大。

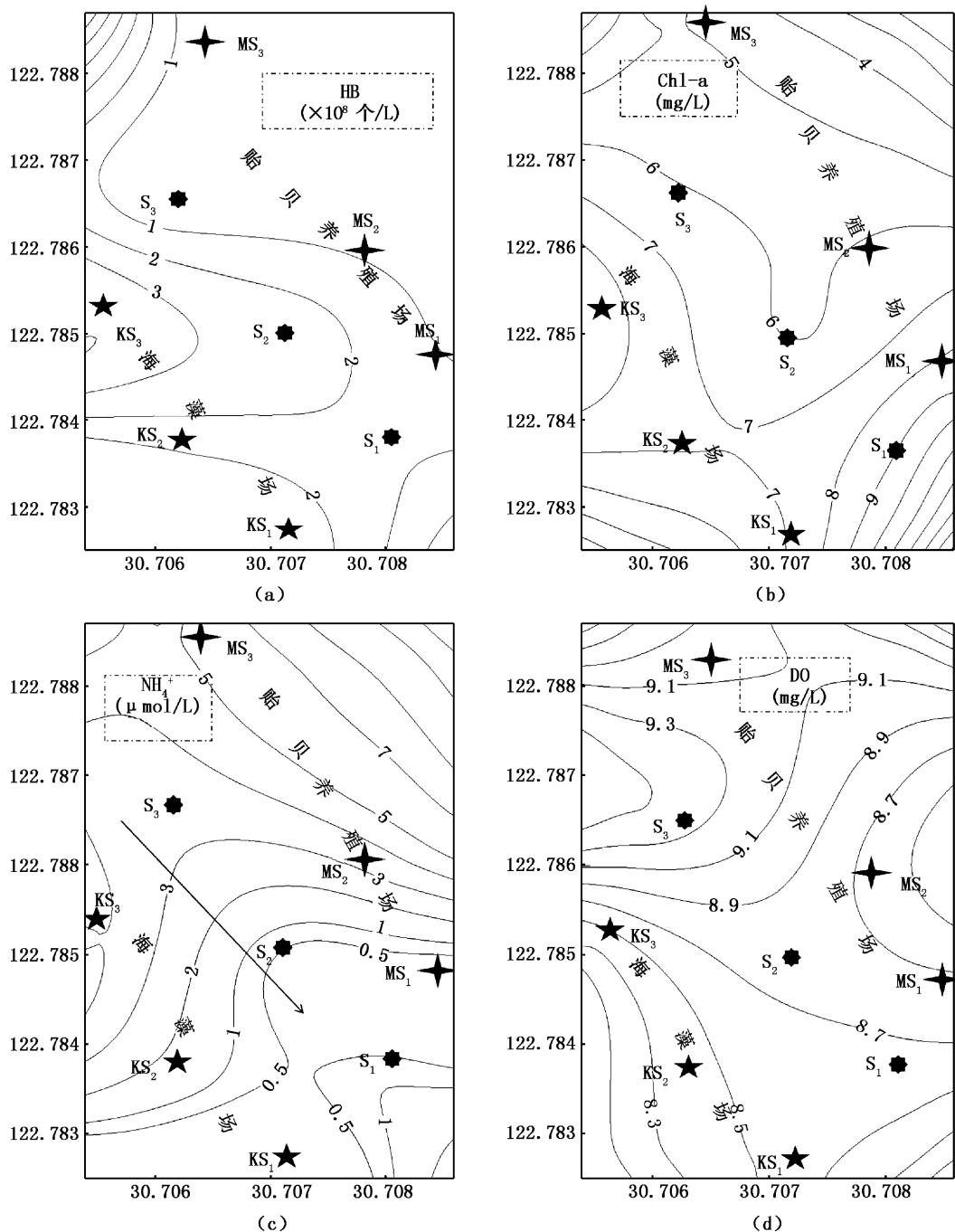


图2 春季表层水体中异养浮游细菌和生态环境因子的水平分布

Fig.2 Horizontal distribution of bacterial abundance and ecological environmental factors on the surface water in spring

2.2.3 春季表层水体中异养浮游细菌和环境因子分布的相互关系

对表层水体异养浮游细菌丰度与水温、盐度、溶解有机碳、磷酸盐、叶绿素 a 等环境因子之

间的关系进行分析。结果显示(表4), KS_x 海域异养浮游细菌丰度与叶绿素 a 呈现高度显著性正相关关系 ($r = 0.988, P \leq 0.05$), 与铵盐 ($r = 0.999, P = 0.072$) 也呈现出相关性, 这说明可能

有其他因素和铵盐一起制约异养浮游细菌丰度的变化或者异养浮游细菌与铵盐呈现一定的非线性相关关系; S_x 海域表层水体异养浮游细菌与铵盐($r = -0.999, P < 0.05$)呈高度显著性负相

关,与磷酸盐含量($r = -0.955, 0.1 < P < 0.05$)也表现出负相关关系而与溶解有机碳呈正相关性($r = 0.997, P < 0.05$); MS_x 海域异养浮游细菌丰度与生态环境因子相关性检验均不显著。

表 4 异养浮游细菌和环境因子的分析结果

Tab. 4 Analytical results of relationship between heterotrophic bacterioplankton and environmental factors

相关系数 r 和显著性检验 P	与叶绿素	与铵盐	与磷酸盐	与 DOC
KS_x 海域	0.988 *	0.999	-	-
S_x 海域	-	-0.999 *	-0.955	0.997 *
MS_x 海域	-	-	-	-

注: * 表示 $P < 0.05$, 检验显著。

3 讨论

冬季底栖海藻和贻贝缓慢生长甚至停止生长,对该海域的生态影响较小,以冬季同一区域的情况作为环境影响标准,冬季海藻场中异养浮游细菌丰度均值为 1.38×10^8 个/L,贻贝养殖区异养浮游细菌丰度均值为 1.11×10^8 个/L,两生境异养浮游细菌数量的差异量为 0.27×10^8 个/L,而春季藻场中异养浮游细菌丰度为 1.6×10^8 个/L,贻贝养殖场中异养浮游细菌丰度为 1.21×10^8 个/L,春季两个不同生境的差异量为 0.39×10^8 个/L,由此可知,异养浮游细菌在春季海藻场和贻贝养殖场中的差异量大于冬季海藻场和贻贝养殖场中的差异量,说明异养浮游细菌丰度的变化除环境因子变化外,海藻和养殖贻贝的存在对异养浮游细菌的影响作用也非常大。春季大型底栖海藻和养殖贻贝均处于快速发展期,有研究表明,大型海藻的存在和生长,为细菌的生长提供有机物质;而在贻贝养殖场,贻贝的生长离不开摄食大量浮游生物^[16],从而间接地影响到养殖场内异养细菌的数量和分布。

3.1 异养浮游细菌现存量与叶绿素浓度的关系

浮游植物通过释放大量的有机物(Photosynthetically produced Dissolved Organic Carbon, PDOC)间接影响浮游细菌的数量变动。浮游植物的叶绿素特别是叶绿素 a,是各门藻类都含有的光合作用色素,是海洋中浮游植物现存量的一个良好指标,本研究发现,海藻场中浮游细菌与叶绿素浓度相关分析呈显著正相关,相关系数为 0.988 ($P \leq 0.05$),这是由于浮游植物光合作用合成的有机物中有相当一部分以溶解有机物的形态释放,而且绝大部分为小分子量的溶解有机

物,能迅速被异养细菌所摄取,浮游植物含量越高,单位时间内胞体释放的溶解有机物越多,被细菌吸收利用的就越多,使细菌在海藻场中的数量迅速增加并维持在较高水平,说明藻场内浮游植物是影响异养浮游细菌现存量的重要因子。现在很多研究都观察到浮游植物现存量与异养浮游细菌现存量之间有较明显的相关性^[6-8],并且把这种现象作为判断异养浮游细菌控制机制的依据之一^[9-10],同时认为异养浮游细菌主要依靠浮游植物释放的溶解有机物,以及浮游动物摄食浮游植物过程中溶出的溶解有机物为碳源进行生长和增殖^[11-14],PETERSON^[15]的碳流模型估计,浮游植物的有机物释放贡献了细菌所需营养物质的 73%。

过渡海域和贻贝养殖场水体中两者之间的关系并不明显,一方面是由于养殖贻贝的滤水摄食对浮游植物保持足够的压力,由表 1 可知, KS_x 、 S_x 和 MS_x 海域叶绿素浓度分别为 7.33、7.01 和 6.64 mg/L, MS_x 海域叶绿素含量最低,排除 KS_x 海域因为大型底栖海藻的存在使叶绿素含量有所增加的影响,仅从 S_x 和 MS_x 海域叶绿素浓度比较来看,仍然是前者比后者的叶绿素含量高,这说明养殖贻贝确实对浮游植物构成一定程度的压力;ZHANG 等在枸杞岛海藻群落结构研究中也得出同样的结论^[16]。另一方面可能是不同区域群落的差异,由于大型海藻的存在,其光合作用产物被细菌利用,加上衰落海藻降解产物也能被细菌利用使自身种群增长。本文认为海藻场中异养浮游细菌生物量高于贻贝养殖区主要得益于大量浮游植物和海藻光合作用产物以及部分海藻降解产生的腐殖质^[17]促进了浮游细菌的新陈代谢。已有研究表明异养浮游细菌

生产需要的溶解有机碳在很多海区甚至超过了净初级生产所能提供的量而是有外源有机碳补充^[18],因此,大型海藻所提供的有机物是满足异养浮游细菌生长的主要碳源,综上所述,认为藻场中的初级生产是影响该海域表层水体异养浮游细菌分布的重要因素。

3.2 水体中异养浮游细菌水平分布与铵盐、溶解有机碳含量的关系

KS_x和S_x海域异养浮游细菌丰度均与铵盐浓度表现出相关性,说明异养浮游细菌在该海域利用铵盐作为氮源促进生长繁殖,细菌现存量越高,利用的铵盐就越多。已有研究表明异养浮游细菌在氮素的地球化学循环中扮演着双重角色^[19-20],在利用氮源方面,异养浮游细菌更倾向于利用有机氮盐(氨基酸)和铵盐,海洋异养浮游细菌能够利用铵盐作为生长所需氮源已被广泛认可^[21-22]。

在吸收氮源方面,海藻场中海藻的存在并不影响异养浮游细菌的生长,因为该海藻场以铜藻等为优势种,研究表明铜藻生长所吸收的氮源是硝态氮^[16],而异养浮游细菌生长首先利用有机氮盐和铵盐,因此,藻场中海藻的存在并不影响浮游细菌对铵盐的吸收。在海藻场和贻贝养殖区的浮游植物吸收无机氮盐时同样也先吸收铵盐,因此在该生境中异养浮游细菌和浮游植物共同竞争铵盐,两者共同吸收铵盐使得铵盐浓度迅速降低从而成为异养浮游细菌生长的影响因子。

异养浮游细菌吸收无机营养盐进行生长繁殖,其生长依赖无机营养盐的数量和性质,细菌体内蛋白质和核酸含量高,对N、P的需求量比较高,无机营养盐与异养浮游细菌成正相关关系。而在S_x海域,经分析,铵盐和异养浮游细菌呈高度显著性负相关,与无机营养盐促进异养浮游细菌生长繁殖的规律相矛盾。为什么异养浮游细菌和铵盐在S_x海域却呈负相关呢?异养浮游细菌生长需要营养物质进行生物合成,这种合成是建立在细菌群体生理状态所调节的化学平衡上,即细菌自身的C:N:P^[23]。水体基质中某一类元素的可利用量若不能满足异养细菌维持这种平衡的需要,即成为异养细菌生长的限制因子,从而也影响到异养浮游细菌对其他元素的利用和矿化。异养浮游细菌生长在不受碳源影响的前提下,无机氮磷对细菌的作用才显现出来,当碳

源受到影响或者说三大营养源比例不能满足细菌生长所需的比例时,细菌和营养盐的关系也会变化,可知矛盾的解释需要从S_x海域实际水样中碳、氮、磷三大营养源相关制约关系中查找,在S_x海域,细菌与DOC的相关分析呈现正相关性,相关系数为0.997,说明S_x海域细菌丰度确实受到溶解有机碳的影响,说明碳是S_x海域异养浮游细菌生长的影响因子,使得细菌吸收铵盐和磷酸盐受到限制而呈负相关,相关系数分别为-0.999和-0.955,这就解释了之前的矛盾。李云在长江口及其邻近海域浮游异养细菌与生态环境因子关系^[23]中得出异养细菌数量垂向分布与磷酸盐浓度呈现显著的负相关的结论。

3.3 与其他海域异养浮游细菌现存量的比较

与渤海湾异养浮游细菌现存量的比较可知:枸杞岛藻场和贻贝养殖场异养浮游细菌平均丰度为 1.46×10^8 个/L,白洁等^[24]1999年春季在渤海湾中部采样得出表层水体细菌丰度均值为 3.466×10^7 个/L低于本文测得的数量值,而赵海萍等^[25]2005年在渤海湾西北部采样得出表层水体细菌丰度均值为 20.9×10^8 个/L又高于本文测得数量值,这可能是因为采样站点、采样海域的营养盐和有机质含量的差异有关,也可能是本研究区域存在的海藻场和贻贝养殖场的生态作用对浮游细菌的数量和分布有着重要影响有关。由于本研究海域距离大陆较远,岛屿人口稀少,基本不受大陆江河污染,水域生态环境良好;而渤海湾中部相对湾口来说污染也较小,从叶绿素和溶解有机碳的含量比较来看,本研究KS_x、S_x和MS_x海域春季表层水体叶绿素浓度分别为7.33、7.01和6.64 mg/L,溶解有机碳含量分别为7.51、8.22和9.37 mg/L,而渤海湾中部春季表层水体叶绿素浓度为 2.3×10^{-4} mg/L和 2.02×10^{-3} mg/L,看出本研究海域叶绿素和溶解有机碳含量远远高于渤海湾中部,而海域丰富的初级生产力和无机碳含量,为异养浮游细菌生长繁殖提供了营养基础,这可能也是本研究海域异养浮游细菌丰度高于渤海湾中部的原因所在。

此外,在测定异养浮游细菌前须固定样品,以帮助核酸特异性染料穿透细胞。本文选用的是无颗粒的戊二醛溶液固定和DAPI荧光染料染色,而有的作者选择使用甲醛和吖啶橙染色,这个过程中固定剂选择的不同、固定剂添加量以及

染料和染色时间之间的不同也会导致试验结果的差异。有研究表明在海水样品中添加固定剂后,固定剂对样品中的细菌密度影响不大,但添加固定剂后绿荧光强度即测定的灵敏度却明显不及未加固定剂的新鲜样品^[26],这可能导致异养浮游细菌数量差异。

4 结论

春季异养浮游细菌在海藻场和贻贝场养殖场及两者过渡海域丰度均值分别为 1.6×10^8 个/L、 1.21×10^8 个/L 和 1.56×10^8 个/L, 细菌总体水平分布为海藻场高于过渡区域高于贻贝养殖场,其中藻场中细菌数量约为贻贝场中的 1.33 倍。海藻场中异养浮游细菌与叶绿素显著正相关,与铵盐也具有相关关系,这主要归因于大型海藻主要利用硝酸盐而浮游植物与细菌共同竞争铵盐使得铵盐浓度降低,铵盐成为影响异养浮游细菌生长的限制因子;过渡海域异养浮游细菌和铵盐呈显著负相关,过渡海域中溶解有机碳是制约细菌丰度限制因子;贻贝养殖场中细菌异养浮游细菌和生态环境因子的相关关系检验均不显著。总之,叶绿素、铵盐和溶解有机碳是枸杞岛东南海域春季藻场内外制约异养浮游细菌现存量的重要控制因子。

参考文献:

- [1] DAVID A, CARON E L L, ROBERT W, et al. Responses of bacterioplankton and phytoplankton to organic carbon and inorganic nutrient additions in contrasting oceanic ecosystems [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2000, 22(2): 175 - 184.
- [2] 肖天. 海洋浮游细菌的生态研究[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(1): 60 - 64.
- [3] 赵三军, 肖天, 岳海东. 秋季东、黄海异养细菌的分布特点[J]. *海洋与湖沼*, 2003, 34(3): 295 - 305.
- [4] 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.
- [5] 史君贤, COURT C. 长江口及其附近海域细菌和三磷酸腺苷的分布特征[J]. *海洋与湖沼*, 1992, 23(3): 288 - 295.
- [6] 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*, 2002, 33(4): 415 - 423.
- [7] 陆全平. 池塘养殖环境调控技术(下)[J]. *农家致富*, 2010(4): 45 - 46.
- [8] 刘子琳, 越川海, 宁修仁, 等. 长江冲淡水区细菌生产力研究[J]. *海洋学报*, 2001, 23(4): 93 - 99.
- [9] KIRCHMAN D L, KEIL G K, SIMON M, et al. Biomass and production of heterotrophic bacterioplankton in the oceanic subarctic Pacific[J]. *Deep-Sea Research (I)*, 1993, 40(5): 967 - 988.
- [10] SHIAH F-K, DUCKLOW H W. Temperature regulation of heterotrophic bacterioplankton abundance [J]. production and specific growth rate in Chesapeake Bay. *Limnology Oceanography*, 1994, 39(6): 1243 - 1258.
- [11] FU H J A, AZAM F. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica and California[J]. *Applied Environment Microbial*, 1980, 39(6): 1085 - 1095.
- [12] JENNIFER C, JAMES A E, ELL T M. Utilization and turnover of labile dissolved organic matter by bacterial heterotrophs in eastern North Pacific surface waters[J]. *Marine Ecological Program Ser*, 1996, 139: 267 - 279.
- [13] DUCKLOW H W. Factors regulating bottom-up control of bacteria biomass in open ocean plankton communities[J]. *Arch Hydrobiology Beih*, 1992, 37: 207 - 217.
- [14] DUCKLOW H, FIELD J G. The changing ocean carbon cycle [J]. Cambridge: Cambridge University Press, 1986(7): 187 - 239.
- [15] PETERSON B J. Synthesis of carbon stocks and flows in the open ocean mixed layer[C]//Hobbie J E, Williams P J L, Heterotrophic Activity in the sea New York: Plenum Press, 1984: 547 - 554.
- [16] ZHANG S Y, WANG L, WANG W D. Algal communities at Gouqi Island in the Zhoushan archipelago, China [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20(5): 5 - 10.
- [17] LAJOS V, KATALIN V B, EAZTER K, et al. Phytoplankton and bacterioplankton production in a reed-covered water body [J]. *Aquatic Botany*, 2003(77): 99 - 110.
- [18] 叶德赞, 倪纯治. 厦门西海域水体的细菌动力学研究和环境容量评估[J]. *海洋学报*, 1994, 16(4): 103 - 112.
- [19] WHEELER P A, KIRCHMAN D L. Utilization of inorganic and organic nitrogen by bacteria in marine systems [J]. *Limnology Oceanography*, 1986, 31(5): 998 - 1009.
- [20] RICHARD B R. Inorganic nutrient limitation of oceanic bacterioplankton [J]. *Limnology Oceanography*, 1997, 42(4): 730 - 740.
- [21] KIRCHMAN D L, WHEELER P A. Uptake of ammonium and nitrate by heterotrophic bacterioplankton in the oceanic subarctic Pacific[J]. *Deep-Sea Research (I)*, 1998, 45(2/3): 347 - 365.
- [22] MIDDLEBURG J J, NIEUWENHUIZE J. Nitrogen uptake by heterotrophic bacteria and phytoplankton in the nitrate-rich Thames estuary [J]. *Marine Ecological Program Ser*, 2000, 203: 13 - 21.
- [23] 李云. 长江口及其邻近海域浮游异养细菌、寡营养细菌、光合细菌的分离鉴定、分布规律及与生态环境因子关系[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [24] 白洁, 李岩然, 李正炎, 等. 渤海春季浮游细菌分布与生态环境因子的关系[J]. *青岛海洋大学学报*, 2003, 33(6):

- 841 - 846.
- [25] 赵海萍,李清雪,陶建华. 海洋细菌荧光显微计数法及其应用[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2007,24(1):
- 57 - 60.
- [26] 潘洛安,张利华,张经. 应用流式细胞术测定水体异养细菌[J]. 海洋环境科学,2005,24(1):54 - 58.

Ecology study of the relationship between heterotrophic bacterioplankton and ecological environment in the area of Gouqi Island in spring

LIU Wei-yun, ZHANG Shou-yu, WANG Kai, CHEN Qing-man

(College of Marine Sciences, Marine Ecosystem & Environmental Laboratory, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Gammaproteobacteria were the dominant species playing different ecological roles in kelp beds and mussel farms. In order to demonstrate whether the environmental conditions were different in these areas, it was applied to study the relationship between heterotrophic bacterioplankton and environmental parameters during spring in the area of Gouqi Island. The results showed that abundance of heterotrophic bacterioplankton in the area of KS_x , MS_x and S_x were 1.6×10^8 cells/L, 1.21×10^8 cells/L and 1.56×10^8 cells/L separately. Horizontal distribution of heterotrophic bacterioplankton was that abundance in KS_x was highest and 1.33 fold of number in MS_x which was lower than in that S_x . Heterotrophic bacterioplankton was positively correlated with chlorophyll a in KS_x . It was limited positively by ammonium in KS_x , because of algae depending on nitrate and the advantages of bacterioplankton absorbing nutrient and competing with phytoplankton; number of bacterioplankton was negatively influenced by ammonium and positively influenced by dissolved organic carbon in S_x . Therefore, Chlorophyll a and ammonium and dissolved organ carbon were the key limiting parameters of heterotrophic bacterioplankton during spring around kelp bed area of Gouqi Island.

Key words: heterotrophic bacterioplankton; environmental factors; relationship; kelp bed; mussel farm