

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

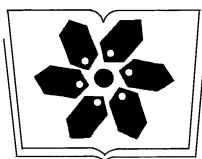
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素

宋星宇^{1,2}, 刘华雪^{1,2,3}, 黄良民^{2,1,*}, 谭烨辉^{1,2}, 柯志新^{1,2}, 周林滨^{1,2,3}

(1. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室, 广州 510301;

2. 中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广州 510301; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 2008年夏季对南海北部不同海区的基础生物生产力(初级生产力及细菌生产力)进行了调查。结果表明, 表层初级生产力(C)和真光层水柱初级生产力平均值(C)分别为 $(0.83 \pm 1.15) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $(225.39 \pm 136.64) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; 表层细菌生产力(C)和真光层水柱细菌生产力平均值(C)分别为 $(0.14 \pm 0.19) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $(128.14 \pm 74.86) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。基础生产力的平面分布整体呈由近岸向深海降低的趋势, 同时在西沙群岛邻近水域存在一个基础生物生产力的高值区。与环境因子的相关分析表明, 温度、营养盐不是影响南海细菌生产力的主要因素, 细菌生产力与浮游植物生物量及初级生产过程密切相关。IBP:IPP比平均值为 $(67.55 \pm 37.13) \%$ 。与细菌生产力的分布规律不同, IBP:IPP比值在深海海域明显高于近岸水域, 在吕宋海峡附近水域发现了IBP:IPP > 100%的高比值区, 说明异养细菌在南海寡营养海域碳循环体系中的重要生态作用。

关键词: 南海; 细菌生产力; 初级生产力; 微食物环

Distribution characteristics of basic biological production and its influencing factors in the northern South China Sea in summer

SONG Xingyu^{1,2}, LIU Huaxue^{1,2,3}, HUANG Liangmin^{1,2,*}, TAN Yehui^{1,2}, KE Zhixin^{1,2}, ZHOU Linbin^{1,2,3}

1 Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanography, CAS, Guangzhou 510301, China

2 Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanography, CAS, Guangzhou 510301, China

3 Graduate University of China Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Both primary production (PP) and bacterial production (BP) are key basic biological productions in marine ecosystems. In this study, the basic biological productions in different zones in the northern South China Sea were investigated in summer in 2008, in order to evaluate the spatial distribution characteristics of the basic biological productions, their influencing factors and their contributions to the carbon flux in the ecosystems of the South China Sea. The investigation covered the estuarine and Yuedong coastal area, the adjacent area of Taiwan Strait and Luzon Strait, the southeast waters of Hainan Island, and the open waters in the northern South China Sea. The results showed that the surface PP (C) and the integrated PP in the euphotic zone (IPP) (C) were $(0.83 \pm 1.15) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ and $(225.39 \pm 136.64) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ respectively; the average surface bacterial production (C) and the integrated bacterial production (IBP) (C) in the euphotic zone were $(0.14 \pm 0.19) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ and $(128.14 \pm 74.86) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ respectively. The basic biological production generally declined from the nearshore waters to the deep sea. Besides the general distribution of high production in coastal and estuarine waters, high PP area could also be found near the Xisha Islands. The high PP value usually appeared in the deep water other than in the surface layer with two vertical peaks in the euphotic zone, one at the depth of 0—20 m and another at the depth of 50—75 m in most stations in the open water of the northern South China Sea. According to the vertical distribution of BP, maximum BP values appeared mostly near bottom layers of the euphotic zone (50—75 m). The correspondence analysis between BP and environmental parameters indicated that temperature and

基金项目: 中国科学院创新方向资助项目(KZCX2-YW-213, KZCX2-YW-T001); 国家自然科学基金资助项目(40906057, U0633007, 40531006); 中国科学院南海海洋研究所青年人才领域前沿项目

收稿日期: 2010-07-28; **修订日期:** 2010-10-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hlm@scsio.ac.cn

nutrients are not key controlling factors of BP in the northern South China Sea; BP was significantly correlated with phytoplankton biomass and PP. The IBP:IPP ratio averaged 67.55 37.13% and had a significant negative correlation with PP, which indicated that in the northern South China Sea, phytoplankton photosynthesis could afford enough carbon resource to the ecosystem in the high PP area in the euphotic zone, while in the area with low PP, the bacterial production process appeared to be more active. Microphytoplankton and nanophytoplankton was often the primary contributor to PP in the coastal area accompanying with the distribution of low BP:PP and IBP:IPP, which indicated that the classic food chain was the main approach for the basic carbon flux in the coastal waters of the northern South China Sea. However, in the oligotrophic open waters that cover most area of the northern South China Sea, IBP:IPP was evidently higher than that in the nearshore waters; the area with extreme high IBP:IPP ratio ($> 100\%$) was found in part of the deep sea area. Meanwhile, picophytoplankton was the dominant primary producer in the oligotrophic waters in the South China Sea, which suggested that heterotrophic bacteria and picophytoplankton play important roles in the ecosystem carbon cycle transporting carbon flux via the microbial loop to higher nutrition levels in the oligotrophic waters of the South China Sea.

Key Words: South China Sea; bacterial production; primary production; microbial loop

海洋浮游细菌是世界上活体生物量最大的类群之一^[1],其中大部分为海洋浮游异养细菌。作为微食物环(Microbial loop)的关键营养阶层,海洋浮游异养细菌能够吸收水体中的溶解有机碳(DOC)并向上层食物链传递。在微食物环中,细菌的新陈代谢及对DOC的利用,对微食物环内的能量流动具有重要意义,通过测定细菌生产力,初级生产力和DOC浓度,可以深入了解微食物环内部物质循环和能量流动途径。因此研究初级生产力与细菌生产力,在海洋碳循环中有着极为重要的意义^[1-2]。

南海北部水域具有较为复杂的生态特征,由近岸浅海生态系统迅速向远岸深海生态系统过渡,其北部和东部则分别由台湾海峡、吕宋海峡与东海和西太平洋联通。研究资料表明,夏季在粤东及海南岛近岸水域均可能受到西南季风驱动的沿岸上升流的影响^[3-4];在深海水域不同时空尺度的物理现象也造成海区生态环境特征的差异。国内对南海北部基础生产力的研究多集中在初级生产力方面,而对细菌生产力的研究相对较少;对南海北部不同海区基础生物生产力的分布差异,细菌生产力与初级生产力的耦合联系以及它们对南海生态系统结构与功能的指示作用,还有待于深入调查与分析。

本研究对南海北部夏季包括吕宋海峡邻近海区在内的不同水域的细菌生产力及初级生产力的分布情况进行耦合研究,并结合相应海域的其它环境生态因子,对其影响因素进行探讨,以期深入了解南海北部生物生产过程。

1 材料与方法

1.1 研究海区 and 采样站位

2008年夏季南海北部开放航次期间,共设置20个站位,对真光层内的初级生产力、细菌生产力以及相应的主要环境、生态指标进行采样研究(图1)^[5]。主要涉及海域包括了粤东河口及近岸区(GD)、台湾海峡及吕宋海峡附近水域(HX)、海南岛东南海域(含西沙群岛邻近海域,HN)、南海北部远岸深海海域(含东沙群岛邻近海域,SH)。使用透明度盘测量并估算真光层深度。水样使用卡盖式采水器采集,采水层次根据水深和真光层深度采集4—6层。

1.2 样品分析及测定

温度、盐度数据由船载CTD直接测量;硝态氮、亚硝态氮、氨氮、硅酸盐和磷酸盐等营养盐以及其它环境参数的分析方法均按《海洋调查规范》中规定的方法进行^[6]

叶绿素a水样先通过200 μm 的筛绢过滤去除浮游动物,然后分别经过20 μm 、3 μm 和GF/F滤膜进行过滤,各滤膜所含浮游植物分别代表小型(20—200 μm)、微型(3—20 μm)和微微型(0.7—3 μm)浮游植物。滤膜吸湿后保存在-20℃冰箱中,回到实验室后,将保存好的滤膜转移到装有10 mL 90%丙酮的离心管中,超

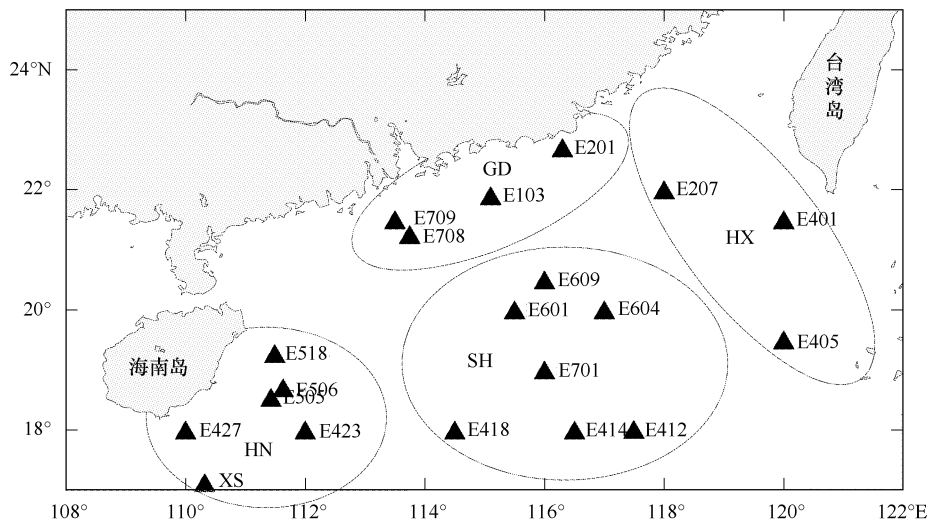


图 1 2008 年夏季南海北部调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in the northern South China Sea in summer, 2008^[5]

声波振荡 15min 后,于 -20°C 下萃取 24 h,然后使用荧光计(Tuner-10-AU-005)测定^[6]。

初级生产力采集水样后,用 $200\mu\text{m}$ 筛绢滤除浮游动物和杂质,分装至 500mL 聚碳酸酯培养瓶中,设置 2 个白瓶和 1 个黑瓶,并分别加入 $4\mu\text{Ci}$ 的 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 示踪剂,采用不同衰光率(1%,3%,10%,35%,50%,70%)的中性衰光布料的搭配来模拟采样水体光照衰减度培养 3—6 h。培养后的水样用 25mm 直径的 GF/F 滤膜过滤,样品采用干燥冷冻方法保存,运回实验室用 Beckman L6500 型液闪计数器测定样品的 ^{14}C 放射性强度,具体测定及计算方法遵照《海洋调查规范》海洋生物调查部分的方法^[6]。

细菌生产力采用 ^3H -亮氨酸示踪法测定。每层水样均设置 2 个平行样和 1 个零时间对对照。无菌采集水样后,零时间样品立即加入 50% 的 TCA 溶液中中止培养;其余各管加入比活度为 $60\text{Ci}/\text{mmol}$ 的 ^3H -亮氨酸试剂,于甲板模拟现场条件培养约 1h,加入 55% 的 TCA 终止培养,并在冰浴中萃取 15 min 后水样经孔径为 $0.22\mu\text{m}$ 的混合纤维素滤膜过滤。所有过滤后的滤膜先后使用 5% TCA 溶液和 80% 冰浴乙醇淋洗,滤膜干燥、冷冻处理后带回实验室使用 Beckman L6500 型液闪计数器测定样品的 ^3H 放射性强度。依据《海洋调查规范》海洋生物调查部分的方法计算细菌生产力^[6]。

2 结果

2.1 叶绿素 a 及初级生产力

2008 年夏季,南海北部表层叶绿素 a 波动范围 $0.04\text{—}2.05\text{ mg}/\text{m}^3$,平均值为 $(0.20 \pm 0.46)\text{ mg}/\text{m}^3$ (表 1)。从平面分布看,表层叶绿素高值区主要分布在粤东及珠江口近岸水域,该区域叶绿素平均值为 $(0.64 \pm 0.81)\text{ mg}/\text{m}^3$;而在台湾海峡、吕宋海峡附近海域以及深海海区较低,其平均值分别为 $(0.06 \pm 0.01)\text{ mg}/\text{m}^3$ 和 $(0.07 \pm 0.01)\text{ mg}/\text{m}^3$;总体趋势为由东北近岸向西南远岸海域逐渐减少(图 2)。

由图 3 可知南海北部不同海域浮游植物的粒级结构存在较大差异,在近岸海域,网采及微型浮游植物占浮游植物生物量的比例相对较高,特别是 E201 站微型浮游植物占据了优势地位,而在远岸站位微微型浮游植物对浮游植物生物量贡献明显。

2008 年夏季南海北部海域表层初级生产力(C)在 $0.10\text{—}4.23\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ 之间波动,平均值为 $(0.83 \pm 1.15)\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ 。表层初级生产力在海南岛东南部水域以及珠江口近岸水域均出现高值,两个海区平均值分别为 $(1.37 \pm 1.32)\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $(2.96 \pm 1.04)\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在调查海域的西部吕宋海峡附近水域及调查海域中部深海区呈低值分布,其中深海海区表层初级生产力分布最低,平均值为 $(0.20 \pm 0.11)\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ (表 1,图 4)。

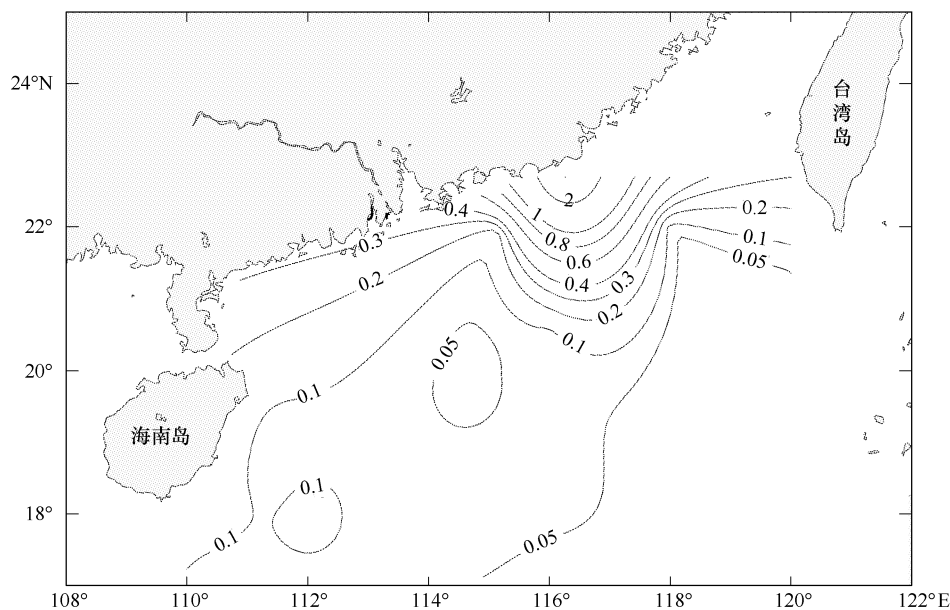


图2 2008年夏季南海北部表层叶绿素分布图(mg/m^3)

Fig. 2 Horizontal distribution of Chl *a* at surface water in the northern South China Sea in summer, 2008^[5]

在真光层内,初级生产力的最高值常常并不出现在表层。在珠江口及粤东近岸水域,以及吕宋海峡海域,初级生产力最大值多出现在6—20m水深;在深海海域,初级生产力垂直结构上则常存在双峰分布,即常分别在0—20m和50—75m处出现两个高值,而垂向分布的最大值则多出现在真光层深处(图5)。

南海北部真光层内水柱初级生产力(C)的平均值为 $(225.39 \pm 136.64) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,与表层初级生产力分布相似,水柱初级生产力的高值区主要分布在珠江口近岸水域和海南岛东南部水域。其中海南岛东南部水域除了在近岸存在高值分布外,在西沙群岛附近海域出现整个调查水域的最高值,水柱初级生产力为 $457.20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。水柱初级生产力低值区主要出现在深海海域,平均值为 $(149.88 \pm 38.35) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (表1)。

2.2 细菌生产力

2008年夏季南海北部海区表层细菌生产力平均值为 $(0.14 \pm 0.19) \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$,其分布范围为 $0.03—0.85 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 。其中细菌生产力的最高值出现在粤东近岸水域,在珠江口以及海南岛东南部近岸水域也存在细菌生产力的高值分布,其中心区细菌生产力分别为 $0.35 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.22 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 。在深海海区细菌生产力最低,平均值为 $(0.06 \pm 0.01) \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$,而在海南岛东南远岸水域以及吕宋海峡南部水域细菌生产力普遍较低,其分布范围在 $0.03—0.07 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间。总体上表层细菌生产力由调查海区西部及西北部近岸向东南深海海域逐渐降低(图6)。

除吕宋海峡北部水域细菌生产力在次表层出现明显的高值分布以外,其余调查站位真光层范围内细菌生产力的垂直变化幅度相对较小。在台湾海峡南部、吕宋海峡南部以及深海海域,细菌生产力最高值常出现在

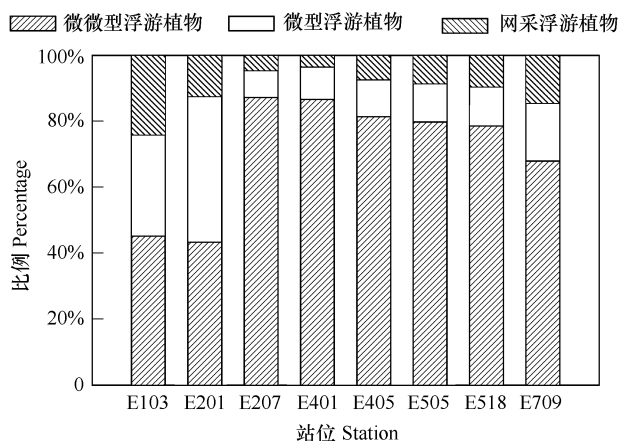


图3 2008年夏季南海北部表层叶绿素的粒级结构

Fig. 3 Size fractionation of surface Chl *a* in the northern South China Sea in summer, 2008

表 1 2008 年夏季南海北部海域细菌生产力及相关参数平均值

Table 1 Mean \pm SD of bacterial production and relevant parameters in the northern South China Sea in summer, 2008

项目 Item	粤东珠江口 Coastal area of Yuedong and Pearl River estuary, GD	海峡区 Adjacent area of the straits, HX	深海区 Open sea area, SH	海南岛东南 Southeast waters of Hainan Island, HN	总平均 Average
温度 $T/^{\circ}\text{C}$	28.30 ± 1.40	28.97 ± 0.30	29.40 ± 0.22	29.44 ± 0.18	29.09 ± 0.85
盐度 Salinity	32.61 ± 0.73	33.46 ± 0.15	33.45 ± 0.13	33.54 ± 0.06	33.28 ± 0.52
表层细菌生产力 Surface BP/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}(\text{C})$)	0.38 ± 0.28	0.11 ± 0.04	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0.06	0.14 ± 0.19
表层初级生产力 Surface PP/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}(\text{C})$)	2.96 ± 1.04	0.56 ± 0.23	0.20 ± 0.11	1.37 ± 1.32	0.83 ± 1.15
表层叶绿素 a Surface Chl a/(mg/m^3)	0.64 ± 0.81	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.10 ± 0.04	0.20 ± 0.46
表层 BP:PP Surface BP:PP/%	8.30 ± 3.28	21.54 ± 10.15	38.08 ± 19.18	26.30 ± 26.49	29.96 ± 22.38
表层 Ps:Chl a Surface Ps:Chl a	17.05 ± 3.37	9.44 ± 3.04	3.17 ± 1.82	11.19 ± 8.37	7.35 ± 6.18
真光层叶绿素 a IChl a/(mg/m^2)	8.24 ± 7.28	8.61 ± 4.12	11.36 ± 2.93	9.56 ± 3.15	10.10 ± 4.69
真光层初级生产力 IPP/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}(\text{C})$)	433.20 ± 30.25	236.12 ± 132.41	149.88 ± 38.35	316.71 ± 218.30	225.39 ± 136.64
真光层细菌生产力 IBP/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}(\text{C})$)	183.26 ± 105.40	182.35 ± 47.82	99.74 ± 23.40	102.87 ± 57.01	128.14 ± 74.86
真光层 BP:PP/IBP:IPP/%	28.67 ± 8.85	95.50 ± 34.73	71.65 ± 25.81	56.69 ± 43.38	67.55 ± 37.13

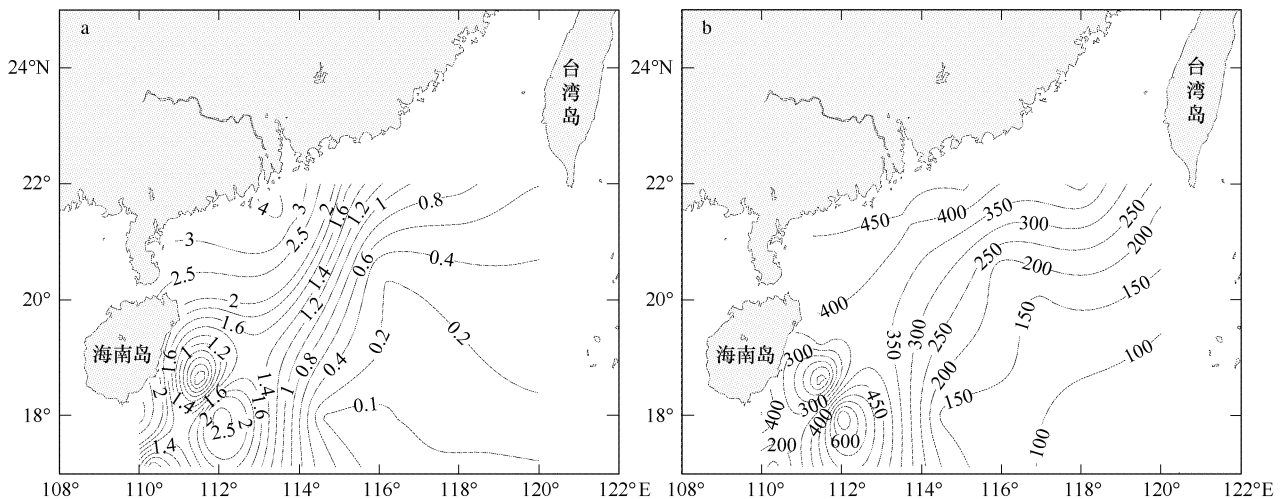


图 4 2008 年夏季南海北部表层初级生产力(a, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$)及真光层水柱初级生产力分布图(b, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)

Fig. 4 Horizontal distribution of surface primary production(a, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) and integrated primary production in the euphotic layer (b, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) [5]

50—75m 这一真光层底部水域。将真光层内各深度的细菌生产力积分,可得到真光层内水柱细菌生产力的分布情况。2008 年夏季南海北部不同海域水柱细菌生产力在 $33.70\text{—}352.98\text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 间波动,调查海区总平均值为 $(128.14 \pm 74.86)\text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。水柱细菌生产力最大值出现在粤东近岸海域,在吕宋海峡北部及西沙群岛附近水域也存在 $>200\text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 的水柱细菌生产力分布。调查海区中部 E609 站以及海南岛东部的 E518 站水柱细菌生产力分布最低,均小于 $50\text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。真光层内水柱细菌生产力近岸与远岸区域分布的差异性与表层细菌生产力相比并不明显(图 6)。

2.3 细菌生产力与初级生产力的比值(BP:PP)

细菌生产力与初级生产力的比值(BP:PP)是海洋基础生物生产力研究的重要指标^[7],常用来表示水体有机质被循环再利用的能力。2008 年夏季,调查海区表层 BP:PP 比值在 $2.54\%\text{—}74.77\%$ 之间波动,平均值为 $(29.96 \pm 22.38)\%$ (表 1)。其中,粤东及珠江口近岸水域最低,平均值为 $(8.30 \pm 3.28)\%$;深海海区最高,平均值为 38.08 ± 19.18 。海南岛东南部水域表层 BP:PP 值波动很大,在 E423 站以及离岸较近的 E427、E518 站,初级生产力水平较高,BP:PP 值在 $2.54\%\text{—}6.47\%$ 之间;而其余调查站位较高,其中海南岛东部的 E505

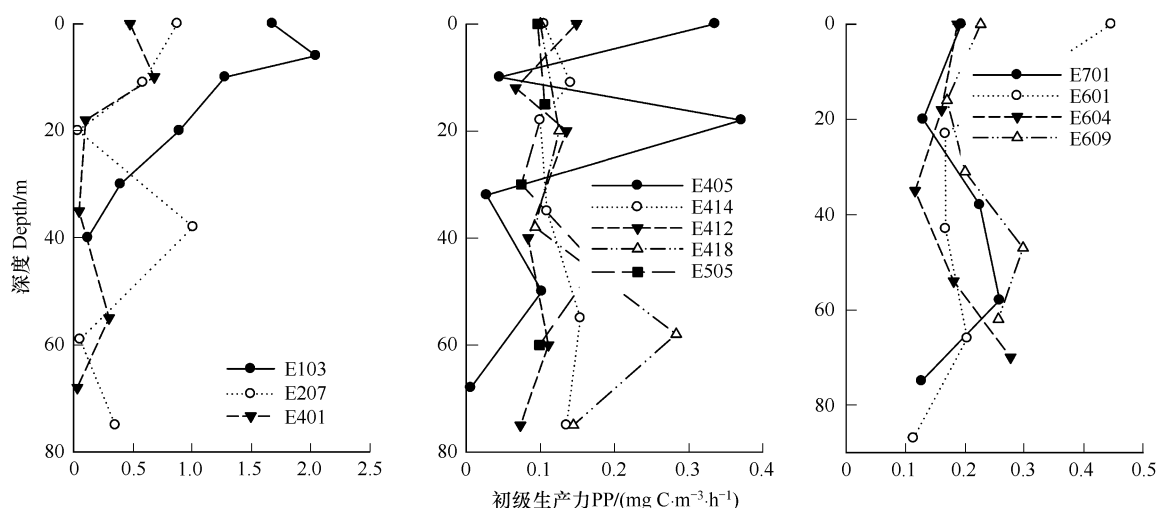
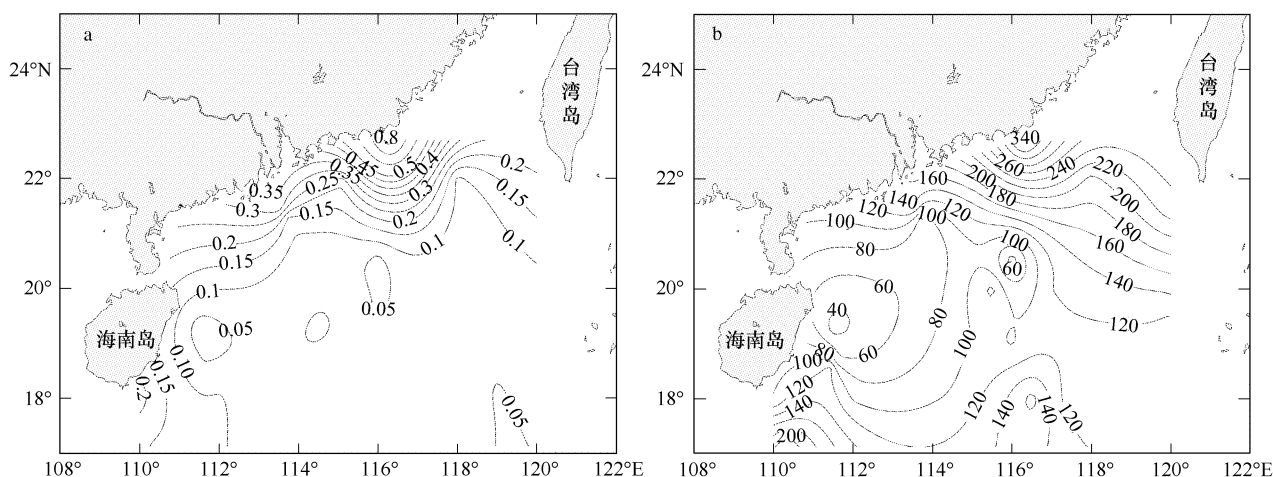


图5 2008年夏季南海北部初级生产力的垂直分布图

Fig. 5 Vertical distributions of primary production in the northern South China Sea in summer, 2008

图6 2008年夏季南海北部表层细菌生产力(a, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$)及真光层水柱细菌生产力分布图(b, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)Fig. 6 Horizontal distribution of surface bacterial production(a, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) and integrated bacterial production in the euphotic layer (b, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) [5]

站达到整个调查海区的最高值(74.77%)。真光层内水柱积分的细菌生产力与初级生产力比值(IBP:IPP)的平均值为(67.55 ± 37.13)%。IBP:IPP值存在较大的地域差异,整体而言,粤东及珠江口近岸水域较低($28.67\% \pm 8.85\%$)而台湾海峡和吕宋海峡附近海区最高(95.50 ± 34.73)。在调查的20个站位中,有4个站位的IBP:IPP比值超过了100%,除了E401、E405、E412这些吕宋海峡以及相近的深水站位外,海南岛东部的E505站IBP:IPP也达到了122.70%。

3 讨论

3.1 南海北部基础生物生产力与环境因子的关系

叶绿素a和初级生产力的时空分布受物理过程(季风、上升流、冲淡水)的影响十分显著,南海北部海域水动力过程复杂,叶绿素a和初级生产力的区域差异性明显^[8-10],本文研究结果也表明在南海北部不同水域,浮游植物生物量、生产力及粒级结构特征具有较强的分布差异性,特别在珠江口及粤东近海上升流区明显有别于远岸水体,这也与以往该海域历史调查结果相一致^[8-9,11]。

在南海北部海域,季风驱动下的环流、陆架区上升流、珠江冲淡水等动力学过程决定了水体营养盐含量、

混浊度等环境因子的分布特征,进而影响浮游植物生长和初级生产过程;而细菌二次生产过程也可能受到类似的影响。海洋浮游异养细菌生长主要受温度^[12]、有机及无机营养盐供应^[13]等环境因子所调控,南海位于低纬度海区,四季水温较高,与高纬度海区相比温差较小,对本次调查的细菌生产力与温度的回归分析可知,南海北部海域细菌生产力与水温分布的相关性不显著,说明温度不是该海域夏季细菌生产力的主要影响因素。本文对细菌生产力与氮、磷等主要营养盐参数进行了相关性分析,发现相关性很低,例如硝酸盐浓度与细菌生产力分布呈正相关但不显著(图7),这可能与本研究取样站位多处于寡营养海区,营养盐现存量与浮游植物实际吸收途径及吸收量不一致有关。从整体分布来看,单位体积的高细菌生产力水域多分布在河口影响区及近岸上升流区域这些高营养盐区域,这与以往报道一致^[11]。

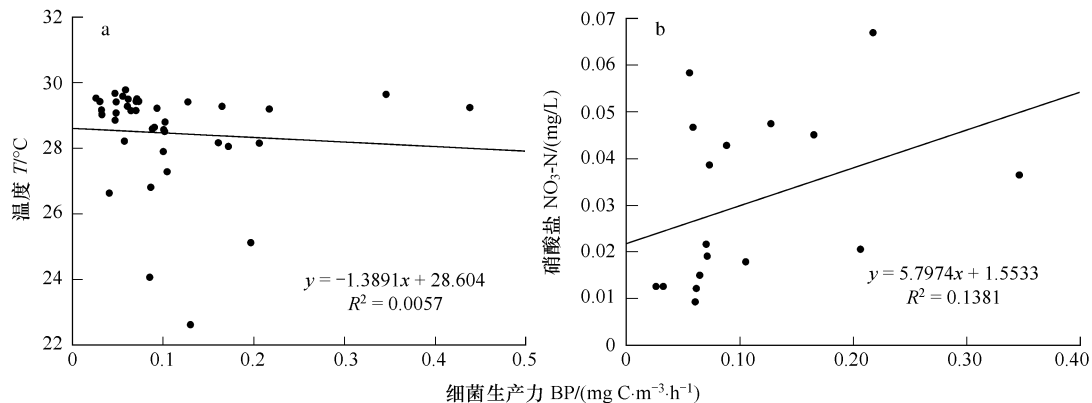


图7 2008年夏季南海北部细菌生产力与水温(a)及硝酸盐浓度(b)的相关关系

Fig. 7 Correlations between bacterial production and temperature (a), bacterial production and nitrate (b)

3.2 南海北部细菌生产力与浮游植物初级生产的关系

细菌二次生产来自于对溶解有机碳的吸收利用,在近岸水体,溶解有机碳来源于外界输入和水体内部释放两个方面,而在远岸大洋水体,则大多来自于与生物相关的有机碳源,特别是由浮游植物释放的^[14]。在南海北部水域,BP与DOC的回归分析显示两者之间的相关关系并不显著(图10),这可能是由于在贫营养海区,细菌二次生产相对于初级生产过程更为活跃,浮游异养细菌对DOC的吸收周转率较高,DOC现存量有时不能直观反映其对BP分布的影响。而浮游植物作为细菌进行二次生产的潜在碳源,其生物量和生产力与细菌生产力之间的关系对细菌利用碳源的情况有较好地指示作用。

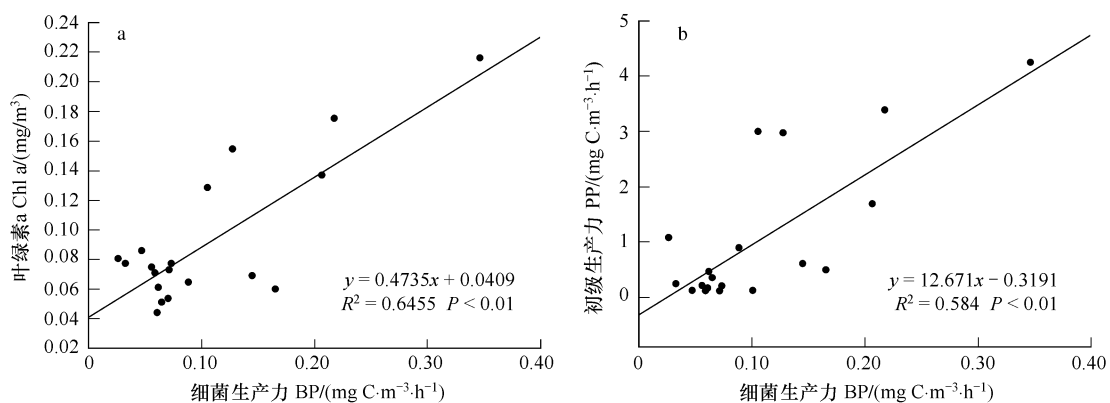


图8 2008年夏季南海北部细菌生产力与叶绿素a(a)及初级生产力(b)的相关关系

Fig. 8 Correlations between bacterial production and Chl a (a), bacterial production and primary production (b)

尽管海洋生态系统中,细菌与浮游植物之间的关系复杂,它们可能还存在竞争关系^[15],但本次调查结果表明,南海北部细菌生产力与营养盐的相关性较低,而与初级生产力、浮游植物生物量均存在显著的相关性

(图 8),说明在南海北部寡营养海域,细菌生产力对浮游植物提供的碳源有较高的依赖性。

3.3 南海北部基础生物生产力对碳循环的指示作用

浮游植物和异养细菌均在将溶解态碳源由基础营养阶层向上层食物链传递中起重要作用^[16]。细菌生产力与初级生产力的综合研究可推断两大生产者在碳循环中的相对关系。由图 9 所示,南海北部 IBP:IPP 比值与 IPP 值的相关性分析表明,IBP:IPP 比与 IPP 呈显著负相关,这说明在南海北部水域,真光层内高初级生产力区域浮游植物固碳提供了较为充足的碳源,细菌生产力的贡献相对较低;而在初级生产力水平较低的海区,细菌二次生产过程则相对较为活跃。

在南海北部近岸水域,网采或微型浮游植物常常是初级生产力的主要贡献者(图 3),微微型浮游植物在光合自养生物中所占比例相对较少,这与该水域较低的 BP:PP 以及 IBP:IPP 比值相对应,说明南海北部近岸水域碳流传递多以经典食物链为主要途径,但对于占南海北部面积比例最大的远岸寡营养水域,IBP:IPP 比值明显高于近岸高初级生产力水域,部分水体甚至超过 100%;微微型浮游植物也在初级生产者中占据了主导地位,说明在南海北部寡营养海域,异养细菌及微微型浮游植物通过微食物环向上层营养级传递的方式在生态系统碳循环过程中占据了重要地位。

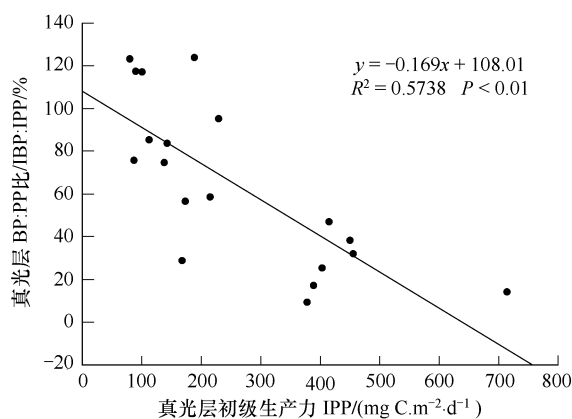


图 9 2008 年夏季南海北部水柱初级生产力与 IBP:IPP 的相关关系

Fig. 9 Correlation between IPP and IBP:IPP

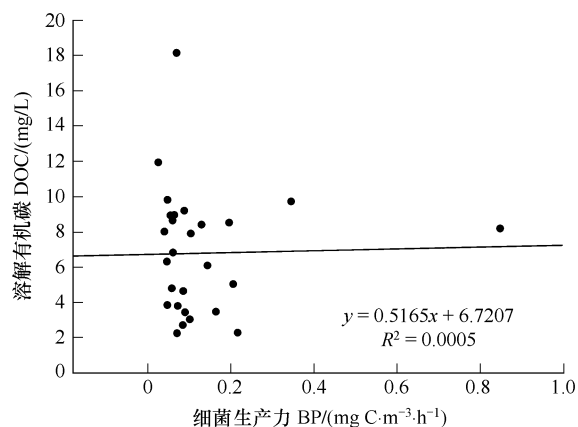


图 10 2008 年夏季南海北部细菌生产力与 DOC 的相关关系

Fig. 10 Correlation between bacterial production and DOC

2008 年夏季南部北部海域 IBP:IPP 比值普遍较高。此次细菌生产力-初级生产力耦合研究的站位多分布在南海北部远岸深海海域,研究结果表明,这一水域 IBP:IPP 远高于近岸。在以往南海北部深海海区调查中,部分水域的 IBP:IPP 比值可达到 96.1%^[11],在类似区域,本次调查的 IBP:IPP 的平均值为 71.65%;吕宋海峡附近水域为首次研究区域,这一海域 IBP:IPP 比甚至超过了 100%,这使整个研究海区的平均值高达 67.55%,明显高于我国东海、渤海等海区的调查结果,也高于 2004 年夏季南海北部 IBP:IPP 的估算值^[11]。

4 小结

本文对 2008 年南海北部不同海域初级生产力及细菌生产力进行了调查分析,结果表明,温度、营养盐与细菌生产力的相关性不显著。细菌生产力大体呈由近岸向远岸深海海域降低的特点。细菌生产力与浮游植物生物量以及初级生产力显著正相关,IPP 与 IBP:IPP 显著负相关,表明细菌生产力与浮游植物之间的密切关系。此次调查中细菌生产力的分布特点及其影响因素与以往的研究结果相似,但细菌生产力、IBP:IPP 平均值均高于历史调查结果,特别是吕宋海峡邻近水域等部分调查水体 IBP:IPP 超过了 100%,说明了异养细菌在南海北部海区上层水体碳循环中的重要作用。

References:

- [1] Williams P J. The balance of plankton respiration and photosynthesis in the open oceans. *Nature*, 1998, 394: 55-57.

- [2] Morgan J A, Quinby H L, Ducklow H W. Bacterial abundance and production in the western Black Sea. *Deep-Sea Research II*, 2006, 53, 1945-1960.
- [3] Dong J D, Wang H K, Zhang S, Huang L M. Vertical distribution characteristics of seawater temperature and DIN in Sanya bay. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, 1: 40-47.
- [4] Song X Y, Huang L M, Zhang J L, Huang X P, Zhang J B, Yin J Q, Tan Y H, Liu S. Variation of phytoplankton biomass and primary production in Daya Bay during spring and summer. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(11/12): 1036-1044.
- [5] Long A M, Chen S Y, Zhou W H, Xu J R, Sun C C, Zhang F Q, Xu H Z, Zhang J L. Distribution of macro-nutrients, dissolved oxygen, pH and Chl a and their relationships in northern South China Sea. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25 (5): 9-16
- [6] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. The Specialties for Oceanographic Survey (GB12763). Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [7] Tanaka T, Rassoulzadegan F. Vertical and seasonal variations of bacterial abundance and production in the mesopelagic layer of the NW Mediterranean Sea; bottom-up and top-down controls. *Deep-Sea Research I* 51, 2004: 531-544.
- [8] Chen Y L L, Chen H Y. Seasonal dynamics of primary and new production in the northern South China Sea; The significance of river discharge and nutrient advection. *Deep-Sea Research I*, 2006, 53: 971-986.
- [9] Chen Y L L. Spatial and seasonal variations of nitrate-based new production and primary production in the South China Sea. *Deep-Sea Research I*, 2005, 52: 319-340.
- [10] Chen Y L L, Chen H Y, Chuang C W. Seasonal variability of coccolithophore abundance and assemblage in the northern South China Sea. *Deep-Sea Research II*, 2007, 54: 1617-1633.
- [11] Liu C G, Ning X R, Cai Y M, Hao Q, Le F F. Bacterioplankton production in the Zhujiang River Estuary and the adjacent northern South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 2: 112-122.
- [12] Shiah F K, Ducklow H W. Temperature and substrate regulation of bacterial abundance, production and specific growth rate in temperate estuarine ecosystem. *Marine Ecological Progress. Series*, 1994, 103: 297-308.
- [13] Rivkin R B, Anderson M R. Inorganic nutrient limitation of oceanic bacterioplankton. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42: 730-740.
- [14] Mindl B, Sonntag B, Pernthaler J, Vrba J, Psenner R, Posch T. Effects of phosphorus loading on interactions of algae and bacteria: reinvestigation of the 'phytoplankton-bacteria paradox' in a continuous cultivation system. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, 38: 203-213.
- [15] Vadstein O. Heterotrophic, planktonic bacteria and cycling of phosphorus. Phosphorus requirements, competitive ability, and food web interactions. *Advances in Microbial Ecology*, 2000, 16: 115-167.
- [16] Shiah F K, Liu K K, Kao S J, Gong G C. The coupling of bacterial production and hydrography in the southern East China Sea: Spatial patterns in spring and fall. *Continental Shelf Research* 20, 2000: 459-477.

参考文献:

- [3] 董俊德, 王汉奎, 张偲, 黄良民. 三亚湾海水温度季节变化及溶解无机氮的垂直分布特征. *热带海洋学报*, 2002 (1): 40-47.
- [5] 龙爱民, 陈绍勇, 周伟华, 徐继荣, 孙翠慈, 张凤琴, 张建林, 徐洪周. 南海北部秋季营养盐、溶解氧、pH 值和叶绿素 a 分布特征及相互关系. *海洋通报*, 2006, 25 (50): 9-16.
- [6] 国家技术监督局, 海洋调查规范 (GB 12763), 2007. 北京: 中国标准出版社.
- [11] 刘诚刚, 宁修仁, 蔡昱明, 郝锵, 乐凤凤. 南海北部及珠江口细菌生产力研究. *海洋学报*, 2007, 2: 112-122.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元