

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

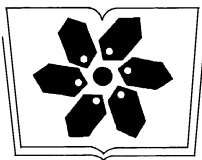
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

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 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106270961

洪丽莎, 王春生, 周亚东, 林钟扬, 王小谷, 宋迅殊. 夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征. 生态学报, 2012, 32(14): 4525-4534.

Hong L S, Wang C S, Zhou Y D, Lin Z Y, Wang X G, Song X S. The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4525-4534.

夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征

洪丽莎^{1,2}, 王春生^{1,2,*}, 周亚东^{1,2}, 林钟扬^{1,2}, 王小谷^{1,2}, 宋迅殊^{1,3}

(1. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012; 2. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 杭州 310012;

3. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室, 杭州 310012)

摘要: 分析了 2011 年 1 月西南印度洋叶绿素 a 的分布特征及其粒级结构, 并结合水动力学环境和营养盐数据探讨了其主要影响因素。结果表明, 西南印度洋副热带涡流 (IOSG) 区表层叶绿素 a 浓度较低, 不超过 0.07 mg/m^3 , 次表层叶绿素 a 浓度最大值所在水深较深, 超过 100 m; 副热带聚集区 (SCZ) 表层叶绿素 a 浓度较高 ($0.164\text{—}0.247 \text{ mg/m}^3$), 次表层叶绿素 a 浓度最大值出现在 50—70 m 层。硝酸盐是该海区浮游植物生长的主要限制因素。微微型 (pico) 粒级的浮游植物占绝对优势, 所有站位其对总叶绿素 a 的平均贡献率为 71.1%, 微型 (nano) 粒级次之 (24.2%), 小型 (net) 粒级所占比例最小 (4.7%), 其中 IOSG 区 pico 粒级对总叶绿素 a 的平均贡献率为 77.9%, SCZ 的 pico 粒级对总叶绿素 a 的平均贡献率为 66.7%。IOSG 区和 SCZ 海区之间水动力学环境的不同, 可能导致了这两个海区叶绿素 a 的分布特征及粒级结构的较大差异。

关键词: 西南印度洋; 叶绿素 a; 粒级结构

The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer

HONG Lisha^{1,2}, WANG Chunsheng^{1,2,*}, ZHOU Yadong^{1,2}, LIN Zhongyang^{1,2}, WANG Xiaogu^{1,2}, SONG Xushu^{1,3}

1 The Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China

2 Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Hangzhou 310012, China

3 State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Hangzhou 310012, China

Abstract: An investigation of the distribution and size composition of chlorophyll a concentration was carried out in the Southwestern Indian Ocean ($47^{\circ}\text{—}70^{\circ}\text{E}$, $25^{\circ}\text{—}40^{\circ}\text{S}$) in January 2011, and factors that might affect the distribution and size composition were discussed. Fluorometric method was used to obtain total and size-fractioned chlorophyll a concentrations. The survey was carried out during the austral summer, and there were 6 stations altogether, two of which located in the region of the south Indian Ocean Subtropical Gyre (IOSG) and the other four located in the subtropical convergence zone (SCZ). Water samples were collected from 13 layers in 0—200m column of each station and the vertical profiles of chlorophyll a, nutrients (NO_3^- , PO_4^{3-} and SiO_3^{2-}), temperature and salinity were obtained. The objective of this study was to investigate the spatial distribution and size fraction of chlorophyll a concentration and to relate them to environmental factors. The results showed that the surface chlorophyll a concentration was low and did not exceed 0.07 mg/m^3 , and the depth of the subsurface chlorophyll a maximum was deep, at approximately 100m and sometimes reaching as deep as 150m in the region of IOSG; However, in the SCZ, the surface chlorophyll a concentration was higher ($0.164\text{—}0.247 \text{ mg/m}^3$), and the subsurface chlorophyll a maximum layer occurred between 50—70m. In the region of IOSG, phytoplankton growth is limited by nutrients supply, while the frontal system formed by the Agulhas Return Current (ARC) and the Subtropical Convergence (STC) is a region of intense mesoscale activity presenting enhanced levels of biological production and

基金项目: 中国大洋矿产资源研究开发协会专项基金 (DY125-13-E-01)

收稿日期: 2011-06-27; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangcsio@sio.org.cn

chlorophyll a concentration. Based on the discussion of the factors affecting the distribution of phytoplankton, it appeared that NO_3^- was the main factor that limited the growth of phytoplankton in the southwestern Indian Ocean, and PO_4^{3-} could be the main limiting factor in some areas. Size-fractionated chlorophyll a concentration clearly showed that the study area was a typical oligotrophic open ocean. The picophytoplankton ($0.2\text{--}2\mu\text{m}$) chlorophyll a always dominated, representing 71.1% of the total chlorophyll a concentration on average, while the average contribution of nanophytoplankton ($2\text{--}20\mu\text{m}$) and microphytoplankton ($>20\mu\text{m}$) chlorophyll a to total chlorophyll a concentration were 24.2% and 4.7% respectively. The dominance of picophytoplankton was resulted from the low nutrient concentration environment because picophytoplankton were more competent over the microphytoplankton and nanophytoplankton under oligotrophic condition. There were some differences on the contribution of picophytoplankton to total chlorophyll a concentration between the regions of IOSG and SCZ, which were 77.9% and 66.7% respectively. The differences of the hydrographical characteristics, which in turn influenced the nutrient dynamics in the region of IOSG and SCZ, might lead to the significant difference of the spatial distribution and size composition of chlorophyll a concentration between these two regions.

Key Words: southwestern Indian Ocean; chlorophyll a; size fraction

浮游植物是海洋生态系统初级生产力的主要贡献者,叶绿素是其进行光合作用的主要色素,其生产的有机物是供养和维持海洋巨大生物资源的物质基础。叶绿素 a 的浓度可以表征海洋中浮游植物现存量,同时也是估算初级生产力的基础^[1]。浮游植物的粒级结构及时空分布对于认识海洋生态系统动力过程及其微食物环的作用具有重要的意义^[2]。越来越多的研究表明,微微型浮游植物(pico)在大洋寡营养海区中占主导地位,对总叶绿素 a 浓度的贡献率高达 70%—90%^[3-4]。

印度洋是世界第三大洋,10°S 以北海区受热带季风影响形成特殊的季节环流^[5],7—18°S 海区终年存在自东向西的南赤道流^[6],来自太平洋西部的水体通过印度洋尼西亚贯穿流(ITF)的形成进入印度洋东南部海区,影响南印度洋 10—25°S 区域海表面温度(SST)^[7],同时南印度洋副热带涡流(IOSG)是印度洋 20—40°S 海区最重要的环流系统,其中涡流的一部分以厄加勒斯洋流(AC)的形式沿着非洲大陆东海岸南向运输^[8],成为西南印度洋最主要的环流系统^[9]。在 Machu 等人的研究中将西南印度洋划分为副热带环流区(SWSIG)、副热带聚集区(SCZ)和次南极海区(SAW)这三大块生物化学区域,因这三大区域之间水动力学环境不同,造成其叶绿素 a 的分布有较大的差异,而 SCZ 因其复杂的厄加勒斯回流锋(ARC)、副热带锋(STF)、次南极锋(SAF)等大洋锋结构成为世界大洋中能量最集中、动力学特征最重要的区域之一,从而为营养盐和水动力环境对浮游植物分布影响的研究提供了一个重要的原位实验海区^[10]。研究表明,在 35°S 以北的 SWSIG 区域,营养盐浓度和浮游植物现存量在整一年中都很低,而在大洋锋附近海域,浮游植物的现存量明显比周围其他海区要高^[10-12]。有关西南印度洋浮游植物现存量的数据大多来自海洋水色遥感,现场实测数据相对匮乏^[10]。2011 年 1 月中国大洋第 22 航次对西南印度洋进行了综合环境调查,通过分析该海区叶绿素 a 分布特征及其粒级结构,以及探讨其与环境因子的关系,旨在进一步了解洋流系统和锋结构对浮游植物分布的影响,从而为西南印度洋生态环境动力学的研究和生物资源评价及海洋水色遥感比对判读叶绿素 a 浓度提供基础资料。

1 方法和材料

1.1 调查海区

2011 年 1 月,中国“大洋一号”科考船对西南印度洋进行了环境综合调查。此次调查沿着西南印度洋脊设置了 6 个站位(CTD01—CTD06),其中 CTD01 和 CTD02 空间距离较远,CTD03—CTD06 这 4 个站位空间位置上接近(图 1)。本次在西南印度洋调查的经度范围是 47—70°E,纬度范围是 25—40°S,站位沿着西南印度洋脊呈西南向分布。

1.2 采样与研究方法

每个站位的温度、盐度数据由 Seabird911plus CTD 直接测得,水样由 CTD 携带的采水器采得,采样层次为 2、10、25、50、60、70、80、90、100、125、150、175 m 和 200 m,共 13 层,用于分析水体叶绿素 a 浓度和营养盐浓度。其中叶绿素 a 采用萃取荧光法测定,营养盐数据按照《海洋调查规范》规定的方法^[13],水样经 $0.45\ \mu\text{m}$ 的混合纤维素酯微孔滤膜过滤,用分光光度计现场测定。

未分级叶绿素 a 用 APFF04700 玻璃纤维膜过滤,分析测定总的叶绿素 a 浓度;分粒级叶绿素 a 分别用孔径为 $20\ \mu\text{m}$ (Millipore NY2004700)、 $2\ \mu\text{m}$ (Millipore TTP04700)、 $0.2\ \mu\text{m}$ (Millipore GTTP04700) 的滤膜分级过滤,分析测定各粒级浮游植物对总叶绿素 a 的贡献。滤膜冷冻保存 ($-20\ ^\circ\text{C}$),测定时经 90% 的丙酮混匀,低温避光萃取 24 h 后,用 Turner10-AU 型荧光计测定萃取液酸化前后的荧光值,根据《海洋调查规范》中的公式计算得出叶绿素 a 浓度^[13]。

2 结果

2.1 环境特征

2.1.1 温度和盐度分布特征

图 2 显示,该调查海区 SST 相差较大,温度梯度明显,从 CTD01 站的 $25\ ^\circ\text{C}$ 左右,经 CTD02 站的 $23\ ^\circ\text{C}$,一

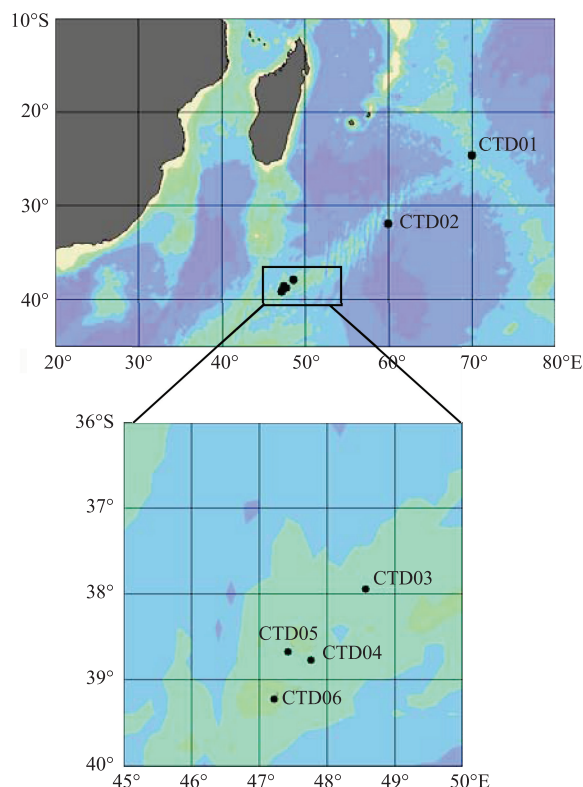


图 1 西南印度洋调查站位图

Fig. 1 Investigation stations in the Southwestern Indian Ocean
CTD: 表示站位

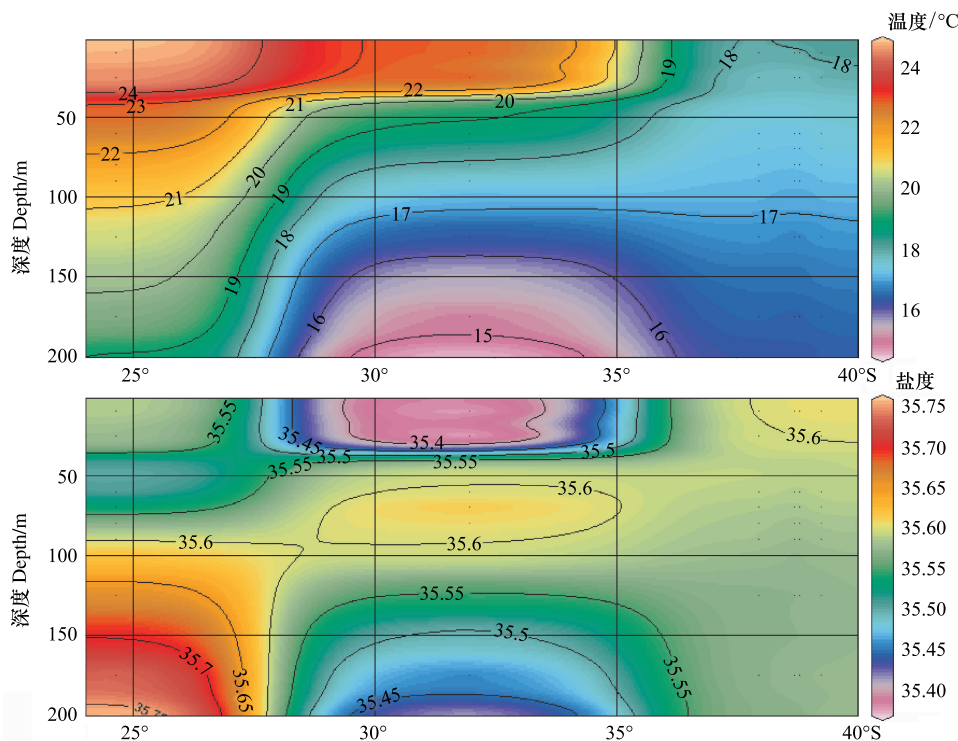


图 2 西南印度洋水温和盐度的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of temperature and salinity in the Southwestern Indian Ocean

直往南到 CTD03—CTD06 站, SST 降到 18 °C 左右, SST 的这种变化趋势和温度的纬向变化有关。CTD01 和 CTD02 站的温跃层明显, 都起始 30—40 m 左右。在 150—200 m 的深度范围内, CTD02 站的温度明显比周围海区要低。CTD03—CTD06 站温度层化结构不明显, 没有明显的温跃层存在, 温度始终保持在 16—18 °C 左右的范围。

该调查区表层盐度较高, 达 35.60 左右, 但 CTD02 站较特殊, 其表层盐度只有 35.38。CTD01 和 CTD02 站盐度层化结构较明显, 跃层都起始于 30—40 m 左右。这两个站位的盐度值在表层和 150—200 m 深度范围内都表现出 CTD01 高、CTD02 低的趋势。与温度的垂直变化趋势类似, CTD03—CTD06 站的层化结构也不明显, 无跃层存在, 这可能说明了在这一海区的混合层较深, 超过 200 m。

2.1.2 营养盐分布特征

从营养盐的断面分布来看, NO_3^- 浓度在 60 m 以上水层中都显示较低, 特别是 CTD01 站, 表层 NO_3^- 浓度只有 0.15 $\mu\text{mol/L}$, 且在整个 200 m 以浅水柱, 没有出现明显的 NO_3^- 跃层, 最大浓度不超过 0.6 $\mu\text{mol/L}$; CTD02 站层化结构较明显, 跃层起始于 70 m 左右, 近 200 m 层 NO_3^- 浓度超过 7 $\mu\text{mol/L}$; CTD03—CTD06 站 NO_3^- 跃层起始于 50 m 层左右, 跃层之下 NO_3^- 浓度值也不大, 一般不超过 5 $\mu\text{mol/L}$ 。与 NO_3^- 类似, CTD01 站的 PO_4^{3-} 也没有出现明显的跃层结构, 且整个 200 m 以浅水柱浓度值都较低, 不超过 0.25 $\mu\text{mol/L}$; CTD02 站表层的 PO_4^{3-} 浓度值最低, 只有 0.04 $\mu\text{mol/L}$, 但在 100 m 深度, 开始出现跃层, 在 125 m 左右的深度出现一个 PO_4^{3-} 浓度高值区; CTD03—CTD06 站表层 PO_4^{3-} 的浓度范围在 0.13—0.17 $\mu\text{mol/L}$ 之间, 垂直层化结构不明显。该调查区 SiO_3^{2-} 浓度较高, 整个调查区 SiO_3^{2-} 盐浓度的垂直层化结构都不明显, 但根据 SiO_3^{2-} 浓度变化趋势可以将调查海区划分为明显的 3 个区块, SiO_3^{2-} 浓度自北向南逐步降低 (图 3)。通过对三项营养盐浓度 (NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-}) 相关性分析表明, 只有 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 的浓度之间表现出显著的正相关 (图 4), 这说明了浮游植物对 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 是按比例吸收的。

2.2 叶绿素 a 分布特征

该调查海区表层叶绿素 a 浓度自北向南呈现逐步升高的趋势, CTD01 站表层叶绿素 a 浓度最低 (图 5), 与该区域 NO_3^- 浓度低值区相对应, 这说明了其是受到 NO_3^- 的限制; CTD02 站次之, 但浓度值也较低 (0.068 mg/m^3), 图 3 显示了该站位表层水体 PO_4^{3-} 浓度较低, 其浮游植物的生长可能是受到了 PO_4^{3-} 的限制; CTD03—CTD06 站之间海区因 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 浓度相对都较高, 表层叶绿素 a 浓度相对较高 (0.164—0.247 mg/m^3)。

叶绿素 a 浓度垂直变化趋势较明显, 显示表层浓度较低, 在一定深度范围内保持相对稳定, 然后出现跃层并在一定深度范围内达到叶绿素 a 浓度最大值, 接着随着深度增加叶绿素 a 浓度持续下降, 一般在近 200 m 水层, 叶绿素 a 浓度稳定在一个较低的水平 (除 CTD01 站)。次表层叶绿素 a 浓度最大值所处深度也呈现出北深南浅的趋势, 相关性分析表明, 次表层叶绿素 a 浓度最大值所处深度与纬度呈高度显著相关 (图 6)。CTD01 站叶绿素 a 浓度最大值所在的深度在 150 m 层左右, CTD02 站是在 100 m 层左右, CTD03—CTD06 站是在 50 m 水层左右, 其与 NO_3^- 跃层所在位置接近 (图 3), 这表明了叶绿素 a 浓度最大值所处深度与 NO_3^- 存在一定的关联。CTD02 站叶绿素 a 浓度的最大值最高, 为 0.589 mg/m^3 , CTD01 站和 CTD03—CTD06 站相对较低, 浓度范围为 0.337—0.461 mg/m^3 。

2.3 浮游植物的粒级结构

对西南印度洋各粒级叶绿素 a 浓度的数据分析表明, pico 粒级占绝对优势, 对总叶绿素 a 浓度的平均贡献达 71.1%, nano 粒级对总叶绿素 a 浓度的贡献次之, 占 24.2%, net 粒级对总叶绿素 a 浓度的贡献最小, 只占 4.7%。图 7 显示, 随着总叶绿素 a 浓度的增加, pico 粒级呈直线上升, 增幅最大, nano 粒级以较小幅度上升, 但 net 粒级变化不明显, 浓度值始终处于较低的水平, 这说明了总叶绿素 a 浓度的增大主要是由于 pico 粒级叶绿素 a 的增加, pico 粒级始终占优势地位。

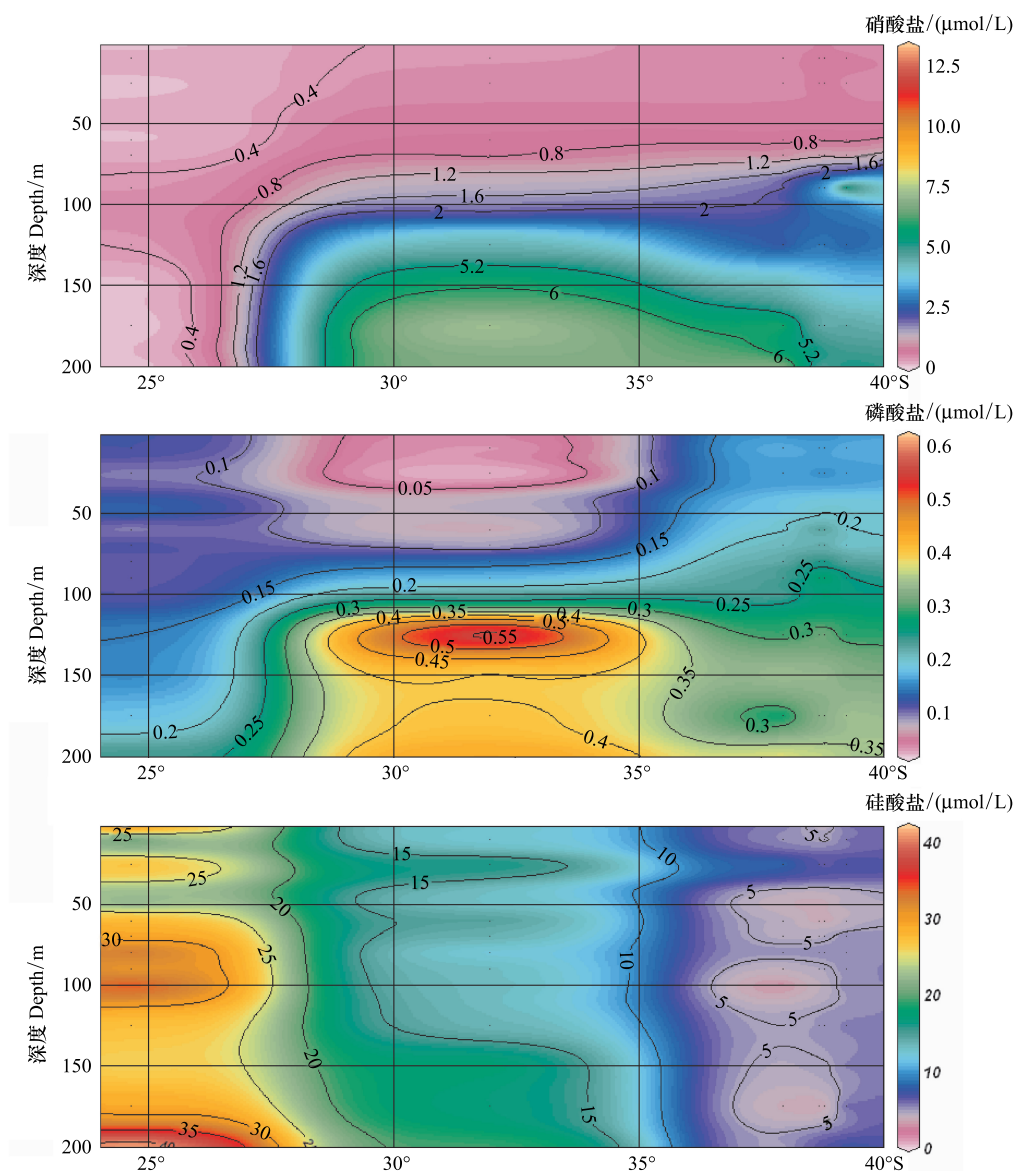
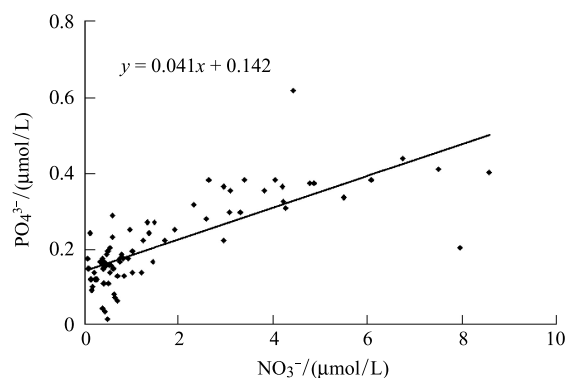


图3 西南印度洋营养盐的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of nutrients (NO_3^- , PO_4^{3-} and SiO_3^{2-}) in the Southwestern Indian Ocean

各粒级对总叶绿素 a 浓度贡献百分比因站位和层次不同存在一定的差异,特别是 pico 粒级对总叶绿素 a 浓度贡献率的水平变化和垂直变化则表现得更为明显(图 8)。Pico 粒级对总叶绿素 a 浓度的贡献大小随深度的变化与叶绿素 a 浓度的垂直变化趋势较一致,表现为表层 pico 粒级所占的比重相对较小,一般低于 70% (除 CTD02 和 CTD03 站),之后随着深度增加百分比逐渐上升,大约在叶绿素 a 浓度最大值深度所在位置, pico 粒级对总叶绿素 a 浓度的贡献也呈现最高,达 80% 左右,尔后 pico 粒级的贡献率随着深度增加而逐渐变小(除 CTD01 和 CTD02 站),特别是在 150—200 m 的深度范围内, pico 粒级对总叶绿素 a 的贡献随着深度增

图4 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 浓度相关性 ($n=77$, $r=0.764$, $P<0.001$)Fig. 4 The relationship between concentration of NO_3^- and PO_4^{3-}

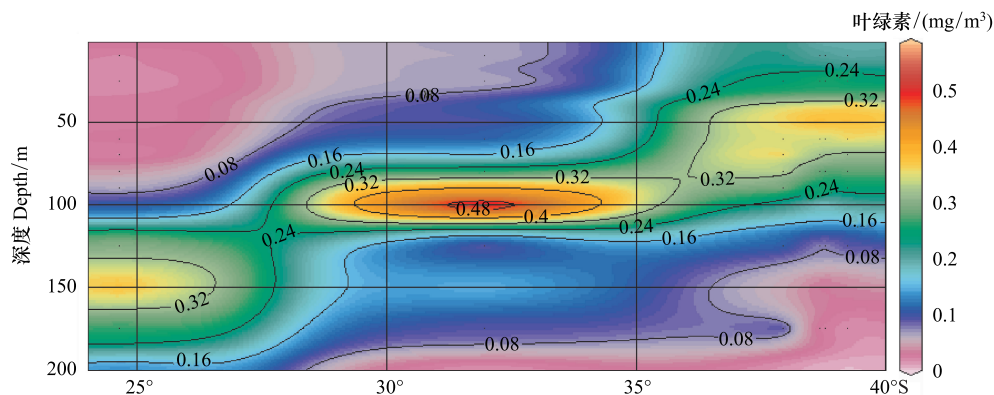


图5 西南印度洋叶绿素 a 的垂直分布

Fig. 5 Vertical distribution of chlorophyll a concentration in the Southwestern Indian Ocean

加而明显下降,在 200 m 左右的深度,pico 粒级对总叶绿素 a 浓度的贡献率一般低于 50%。从较大的空间尺度上来说,各站位之间 pico 粒级对总叶绿素 a 的贡献大小存在明显的水平和垂直差异,这可能和特定海区的水动力学特征有关,不同海区如果水动力学特征存在差异,就会造成各区域之间叶绿素 a 浓度分布及 pico 粒级对总叶绿素 a 的贡献大小存在差异。但 CTD03—CTD06 这 4 个站位由于地理位置上接近,水动力学环境相似,pico 粒级对总叶绿素 a 的贡献率没有表现出明显差异。

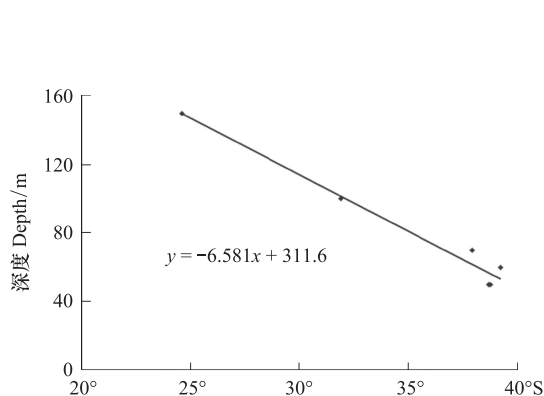


图6 次表层叶绿素 a 最大值深度与纬度的相关性

Fig. 6 The relationship of the depth of subsurface chlorophyll a maximum to the latitude

$n=6$, $r=0.986$, $P<0.001$

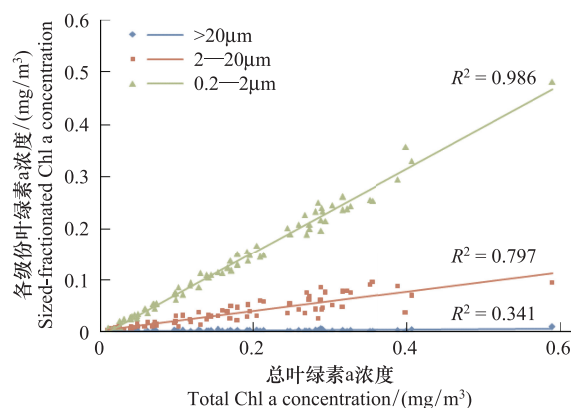


图7 各粒级叶绿素 a 浓度随总叶绿素 a 浓度的变化趋势图

Fig. 7 The relationship between chlorophyll a concentration of different size and the total chlorophyll a concentration

3 讨论

3.1 叶绿素 a 的分布特征及其与环境因子的关系

3.1.1 副热带涡流区叶绿素 a 的分布特征

南印度洋 20—40°S 之间的海区最重要的洋流体系是印度洋副热带涡流 (IOSG) [8], CTD01 和 CTD02 站虽然在空间距离上相差较远,但都受到 IOSG 的影响。副热带涡流区域特别是靠近涡流中心区域,在整年中营养盐浓度和生产力都很低 [14],本文研究结果与之相吻合。CTD01 和 CTD02 站表层叶绿素 a 浓度分别为 0.041 mg/m³ 和 0.068 mg/m³,图 3 显示,上述两个站位表层 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 的浓度值较低,说明了初级生产力在很大程度上可能是受到营养盐的限制。Redfield 比值常常用来揭示浮游植物生长对营养盐的潜在需求,通过对 CTD01 和 CTD02 站表层叶绿素的 N/P 比的分析,其 N/P 比值都小于 16,可见该海区初级生产力主要是受到 NO_3^- 的限制,这与秋、夏两季得到的 NO_3^- 是印度洋南赤道流区浮游植物生长的主要限制因素这一结果相

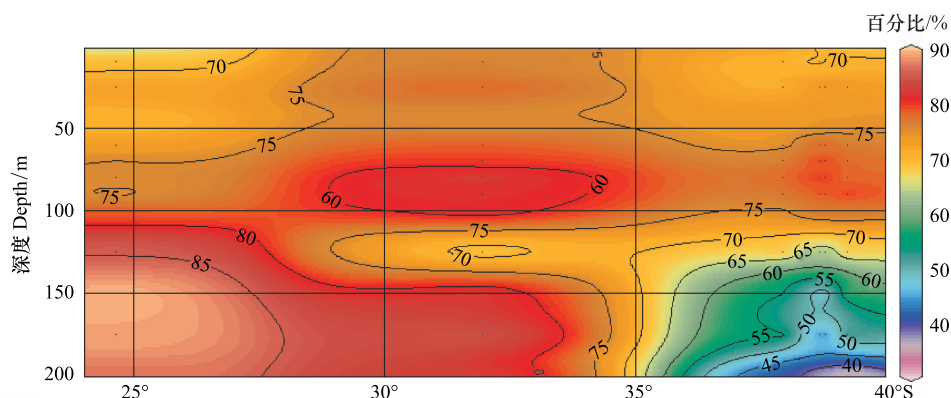


图8 西南印度洋 pico 粒级叶绿素 a 对总叶绿素 a 浓度贡献垂直分布

Fig. 8 Vertical distribution of the contribution rate of picophytoplankton to the total chlorophyll a concentration in the Southwestern Indian Ocean

吻合^[15-16]。CTD02 站表层磷酸盐浓度异常低($0.040 \mu\text{mol/L}$),根据秋季印度洋南赤道流区浮游植物对营养盐吸收的半饱和和常数(NO_3^- 的 K_N 为 $0.01-0.12 \mu\text{mol/L}$, PO_4^{3-} 的 $K_P=0.04-0.18 \mu\text{mol/L}$, SiO_3^{2-} 的 K_{Si} 值为 $0.5-5 \mu\text{mol/L}$)^[15],可知该区域 PO_4^{3-} 的浓度值很大程度上低于半饱和常数,这说明了该区域表层浮游植物的生长在更大程度上是受到了 PO_4^{3-} 的限制。有研究表明,IOSG 海区表层水体营养盐主要来源于印度洋的南部边界区域,且营养盐的丰富程度是受到 STF 位置迁移的影响^[14]。根据海洋水色遥感数据可知 IOSG 区叶绿素 a 浓度存在季节性变化,因南半球冬季 STF 北向迁移,则导致 IOSG 区冬季表层叶绿素 a 浓度值最高^[14],同时可能还受到其他机制的影响,如深层次的层化作用及较高的碎屑矿化作用,都在一定程度上为支持冬季浮游植物的最高生产力提供营养盐的来源^[10]。虽然印度洋南部边界海区为副热带涡流区提供了营养盐来源,但由于在 34°S 区域存在的锋形成阻碍营养盐进一步北向运输的动力学障碍^[10],则可能导致了 CTD01 和 CTD02 站海区表层 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 仍处于较低浓度水平。

海洋水色遥感数据显示,在副热带涡流中心区域,一般比较明显的特征是表层叶绿素 a 浓度最低,硝酸盐跃层最深^[14],这两个特征都在本研究中得以反映。CTD01 站的三项营养盐跃层都不明显,特别是 NO_3^- ,在 200 m 至表层的深度范围内,始终处于较低浓度水平,可见 NO_3^- 跃层的深度可能大于 200 m。CTD02 站营养盐跃层较明显,则是因为其距离副热带涡流中心区域较远。根据 McClain 等研究得到的水色遥感数据^[14],也显示了 CTD01 站相比于 CTD02 站其距离副热带涡流中心更近。CTD01 站 NO_3^- 跃层较深,与此相对应的现象便是叶绿素 a 浓度最大值水层也较深,达 150 m 左右,这说明了叶绿素 a 浓度最大值水层和 NO_3^- 跃层所在位置存在较大的关系。随着深度的进一步加深,浮游植物的生产可能主要是受到光照的限制。Leblanc 等人对西南印度洋克罗泽海盆的研究表明,在 128m 深度仍能获得 0.1% 的有效光强^[17],因 pico 粒级在低营养水平、低光照条件下仍有较高的生产力^[18],从而使得 CTD01 站叶绿素 a 浓度最大值水层能够出现在 150 m 的深度。CTD02 站叶绿素 a 浓度的最大值出现在 100 m 左右(图 5),与 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 跃层的上部边界相对应(图 3),这与 Letelier' 等人研究得到的叶绿素 a 最大值深度和营养盐跃层上部有很强烈的耦合性这一结果相吻合^[19]。

3.1.2 副热带聚集区(SCZ)叶绿素 a 的分布特征

南极绕极流(ACC)和厄加勒斯回流(ARC)在西南印度洋海区相距比较近,因两者之间的相互作用从而形成一系列锋系统,这些锋系统自北向南主要包括厄加勒斯回流锋(ARF)、副热带锋(STF)和亚南极锋(SAF)^[20]。这些锋系统将高温、高盐的副热带水体和低温、低盐的亚南极水体分开,锋之间存在明显的温度和盐度差异,从而形成了浮游植物、浮游动物和海鸟等生物分布的地理学上的障碍^[21]。从图 2 中可知,IOSG 区域和 SCZ 温度差异较明显,而盐度的变化相对复杂。由于不同锋的位置有时候难以界定,特别是这些锋系统流经克罗泽海盆北部时会相互紧密合并^[22],更是难以将它们进行区分,因此 Machu 等人对西南印度洋进行

研究时,就将复杂的锋系统所在海区(35—40°S)称为副热带聚集区(SCZ)^[10]。本研究设置的CTD03—CTD06这4个站位大致位于经度47°E,纬度37—40°S区域,根据Machu等人对该研究海区的划区^[10],CTD03—CTD06站基本属于SCZ区域。有较多的研究表明,在大洋锋所在的海区,浮游植物的生物量往往较高^[10-12,23],本研究也得到同样的结论。相比于CTD01和CTD02站(0.041—0.068 mg/m³),CTD03—CTD06站表层叶绿素a浓度明显较高(0.164—0.247 mg/m³),造成此差异的原因是锋所在区域水体稳定性增加,亚南极水体丰富的营养盐来源,以及近岸沉积物中可溶性铁盐的再悬浮作用^[11,21],其中本研究中表现较为明显的是硝酸盐浓度和磷酸盐浓度较高(图3)。根据CTD03—CTD06站表层水体的N/P比值(2.4—5.5),硝酸盐可能是影响浮游植物进一步生长的限制性因素,这与Machu等人的研究结果相吻合。根据Machu等人的研究认为,夏季西南印度洋42°S以南海区光照才是初级生产力的限制因素,42°S以北海区初级生产力主要受到营养盐的限制^[10]。

锋的存在很容易形成涡^[24],SCZ就存在较多具有不同冷热特征的涡,其中一个涡位于ARF北部46°E,38°S区域,其较明显的特征是叶绿素a浓度较高(约0.600 mg/m³)、SiO₃²⁻浓度较低(<0.2 μmol/L)、NO₃⁻浓度较高(0.4—0.6 μmol/L)^[9]。CTD04站测得的各项参数与上述涡的特征比较相符,唯一差别较大的是叶绿素a浓度,CTD04站叶绿素a浓度只有0.210 mg/m³,这可能与SCZ区域叶绿素a浓度年变化有关,水色遥感数据也发现STF周围海区叶绿素浓度信号表现出很强的年变化,这可能是由STF和ARF之间汇聚作用的强度差异造成的^[9],Fiala等人在夏季对西南印度洋的SAF/STF区域调查也没有发现水华^[20],且比同季节调查得到的结果要低^[9]。涡的存在会影响整个水体,从而扰动整个水柱的层化结构^[14],从本研究得到的温度和盐度垂直分布观察得到,CTD03—CTD06站在200 m以浅水深没有发现温跃层和盐跃层(图2),这也说明了该海区可能存在涡,从而影响了水体的层化结构,也有可能混合层较深,在大于200 m的水层中,有研究表明SCZ区域混合层深度存在一定的季节变化趋势,夏季(1—3月)出现在40—80 m深度,冬季(7—9月)出现在190—280 m的深度^[10],而本研究却表明SCZ夏季混合层深度也可能大于200 m的深度。CTD03—CTD06站叶绿素a浓度最大值深度主要集中在50 m水层,大约位于硝酸盐跃层的上部位置,这也再一次验证了叶绿素a最大值深度和营养盐跃层上部有很强烈的耦合性^[19]。

3.3 浮游植物的粒级结构及其与环境因子的关系

浮游植物粒级结构时空分布及其环境驱动因素已经成为海洋生态研究的热点,从粒径的角度研究海洋初级生产力对于理解生态系统中能量和物质的传递具有更为重要的意义^[25]。pico粒级因具有较大的比表面积、较低的半饱和系数以及受光线包裹效应等因素的影响,而在寡营养海域以及弱光条件下占优势地位^[18]。图7显示了各粒级所占的比重随着总叶绿素a浓度提高没有发生明显的变化,这说明了该调查区整体上处于寡营养状态,使得pico粒级在营养盐不足的状态下始终占主导地位。该调查区所有站位pico粒级对总叶绿素a的平均贡献率为71.1%,其中副热带涡流区的CTD01和CTD02站中pico粒级对总叶绿素a的平均贡献率为77.9%,SCZ的CTD03—CTD06站中pico粒级对总叶绿素a的平均贡献率为67.7%,从pico粒级对总叶绿素a贡献率的垂直剖面图中也可以看出这两个海区的差异(图8),造成此现象的原因是SCZ相比于副热带涡流区有更丰富的营养盐。因为在低营养状态下,pico粒级具有较强的获取营养盐的能力从而获得更高的生长率,则更能凸显其优势地位,而在高营养浓度水平,pico粒级生产力反而受到限制^[25-27]。各站位pico粒级对总叶绿素a贡献最大值所处深度与叶绿素a浓度最大值所在深度有很好的对应关系(图5和图8),而这两者与硝酸盐跃层所在的位置可能有紧密的关系(图3),特别是与硝酸盐跃层的上部位置可能有比较强的耦合性^[19,28],这也反映了营养盐的可利用性是pico粒级占优势的驱动因素。由于营养盐的改变往往是水体物理结构的变化引起的^[25],这说明了副热带涡流及SCZ的大洋锋在一定程度上通过改变水体动力学环境,从而间接影响了浮游植物粒级结构的分布。

4 结论

根据水动力学差异将该调查区分为副热带涡流区和副热带聚集区。副热带涡流区表层水体由于受到营

养盐的限制,叶绿素 a 浓度较低,不超过 0.07 mg/m^3 ;SCZ 由于大洋锋的影响,以及来自亚南极水体丰富的营养盐,使得该海区表层叶绿素 a 浓度较高,且该海区混合层的深度超过 200 m。pico 粒级在整个调查区都占绝对优势,nano 粒级次之,net 粒级所占比例最小,两个区域水动力学环境的差异使得营养水平有很大的不同,从而在一定程度上影响了这两个区的浮游植物粒级结构。整个海区硝酸盐可能是限制浮游植物进一步生长的主要限制因素,并且叶绿素 a 浓度最大值所处深度和 pico 粒级对总叶绿素 a 贡献率最大值所在深度与硝酸盐跃层上部位置有一定的耦合性,其中部分海区硝酸盐跃层超过 200 m 水深,从而导致叶绿素 a 浓度最大值所在水层也达到 150 m 的深度。

References:

- [1] Liu Z L, Chen Z Y, Zhou B F, Zhang T, Ding T. The seasonal distribution of the standing stock of phytoplankton in the source area of the Kuroshio and adjacent areas. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006, (1): 58-63.
- [2] Huang B Q, Liu Y, Chen J X, Wang D Z, Hong H S, Lü R H, Huang L F, Lin Y A, Wei H. Temporal and spatial distribution of size-fractionized phytoplankton biomass in East China Sea and Huanghai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(2): 156-164.
- [3] Odate Tsuneo. Abundance and size composition of the summer phytoplankton communities in the western North Pacific Ocean, the Bering Sea, and the Gulf of Alaska. *Journal of Oceanography*, 1996, 52(3): 335-351.
- [4] Savidge G, Gilpin L. Seasonal influences on size-fractionated chlorophyll *a* concentrations and primary production in the north-west Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1999, 46(3/4): 701-723.
- [5] Shankar D, Vinayachandran P N, Unnikrishnan A S. The monsoon currents in the north Indian Ocean. *Progress in Oceanography*, 2002, 52(1): 63-120.
- [6] Thorington-Smith M. West Indian Ocean phytoplankton: a numerical investigation of phytohydrographic regions and their characteristic phytoplankton associations. *Marine Biology*, 1971, 9(2): 115-137.
- [7] Murtugudde R, Busalacchi A J. Interannual variability of the dynamics and thermodynamics of the tropical Indian Ocean. *Journal of Climate*, 1999, 12(8): 2300-2326.
- [8] Povinec P P, Breier R, Coppola L, Groening M, Jeandel C, Jull A J T, Kieser W E, Lee S H, Liong Wee Kwong L, Morgenstem U, Park Y H, Top Z. Tracing of water masses using a multi isotope approach in the southern Indian Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 302(1/2): 14-26.
- [9] Read J F, Lucas M I, Holley S E, Pollard R T. Phytoplankton, nutrients and hydrography in the frontal zone between the Southwest Indian Subtropical gyre and the Southern Ocean. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2000, 47(12): 2341-2367.
- [10] Machu E, Biastoch A, Oschlies A, Kawamiya M, Lutjeharms J R E, Garçon V. Phytoplankton distribution in the Agulhas system from a coupled physical-biological model. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2005, 52(7): 1300-1318.
- [11] Froneman P W, Pakhomov E A, Meaton V. Surface distribution of microphytoplankton of the south-west Indian Ocean along a repeat transect between Cape Town and the Prince Edward Islands. Southern Ocean Group Department of Zoology and Entomology, Rhodes University.
- [12] Froneman P W, Perissinotto R, Pakhomov E A. Biogeographical structure of the microphytoplankton assemblages in the region of the Subtropical Convergence and across a warm-core eddy during austral winter. *Journal of Plankton Research*, 1997, 19(4): 519-531.
- [13] State Technology Supervision Bureau. GB/T 12736. 6—2007. The Specification for Oceanographic Survey. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [14] McClaina C R, Signorini S R, Christian J R. Subtropical gyre variability observed by ocean-color satellites. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004, 51(1/3): 281-301.
- [15] Zhou Y D, Wang C S, Wang X G, Liu Z S, Lu Y, Liu X H. The distribution of size-fractionated chlorophyll *a* in the Indian Ocean South Equatorial Current. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16): 4586-4598.
- [16] Hong L S, Wang C S, Zhou Y D, Chen M R, Liu H B, Lin Z Y, Song X S. The distribution of chlorophyll *a* in the tropical eastern Indian Ocean in austral Summer. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012.
- [17] Leblanc K, Quéguiner B, Fialab M, Blain S, Morvan J, Corvaisier R. Particulate biogenic silica and carbon production rates and particulate matter distribution in the Indian sector of the Subantarctic Ocean. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2002, 49(16): 3189-3206.
- [18] Raven J A. The twelfth Tansley Lecture. Small is beautiful: the picophytoplankton. *Functional Ecology*, 1998, 12(4): 503-513.
- [19] Letelier R M, Karl D M, Abbott M R, Bidigare R R. Light driven seasonal patterns of chlorophyll and nitrate in the lower euphotic zone of the

- North Pacific Subtropical Gyre. *Society of Limnology and Oceanography*, 2004, 49(2): 508-519.
- [20] Fiala M, Kopczynska E E, Oriol L, Machado M C. Phytoplankton variability in the Crozet Basin frontal zone (Southwest Indian Ocean) during austral summer. *Journal of Marine Systems*, 2004, 50(3/4): 243-261.
- [21] Froneman P W, McQuaid C D, Laubscher R K. Size-fractionated primary production studies in the vicinity of the Subtropical Front and an adjacent warm-core eddy south of Africa in austral winter. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(11): 2019-2035.
- [22] Park Y H, Gamberoni L, Charriaud E. Frontal structure, water masses, and circulation in the Crozet Basin. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(C7): 12361-12385.
- [23] Machu E, Gargon V. Phytoplankton seasonal distribution from SeaWiFS data in the Agulhas Current system. *Journal of Marine Research*, 2001, 59(5): 795-812.
- [24] Read J F, Pollard R T. Structure and transport of the Antarctic circumpolar current and Agulhas return current at 40°E. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(C7): 12281-12295.
- [25] Fu M Z, Wang Z L, Sun P, Li Y, Li R X. Size structure and potential export of phytoplankton primary production in the southern Huanghai (Yellow) Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(6): 100-109.
- [26] Agawin N S R, Agusti S, Duarte C M. Abundance of Antarctic picophytoplankton and their response to light and nutrient manipulation. *Aquatic Microbial Ecology*, 2002, 29(2): 161-172.
- [27] Agawin N S R, Duarte C M, Agusti S. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnology and Oceanography*, 2000, 45(3): 591-600.
- [28] Herblanda A, Le Bouteiller A, Raimbault P. Size structure of phytoplankton biomass in the equatorial Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1985, 32(7): 819-836.

参考文献:

- [1] 刘子琳, 陈忠元, 周蓓锋, 张涛, 丁涛. 黑潮源区及其邻近海域叶绿素 a 浓度的季节分布. *海洋湖沼通报*, 2006, (1): 58-63.
- [2] 黄邦钦, 刘媛, 陈纪新, 王大志, 洪华生, 吕瑞华, 黄凌风, 林以安, 魏皓. 东海、黄海浮游植物生物量的粒级结构及时空分布. *海洋学报*, 2006, 28(2): 156-164.
- [13] 海洋调查规范. GB/T 12763.4—2007. 国家技术监督局. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [15] 周亚东, 王春生, 王小谷, 刘镇盛, 卢勇, 刘晓辉. 印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构. *生态学报*, 2011, 31(16): 4586-4598.
- [25] 傅明珠, 王宗灵, 孙萍, 李艳, 李瑞香. 南黄海浮游植物初级生产力粒级结构与碳流途径分析. *海洋学报*, 2009, 31(6): 100-109.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

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:100071	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