

中国海洋学文集

OCEANOGRAPHY IN CHINA

9

南大洋特定海域浮游植物现存量和初级生产力结构研究

(国家自然科学基金资助项目)

宁修仁等著



海洋出版社

中国海洋学文集

9

南大洋特定海域浮游植物现存量和初级生产力结构研究

(国家自然科学基金资助项目)

宁修仁 等著

海洋出版社

1998年·北京

内 容 简 介

本文集系“南大洋特定海域浮游植物现存量 and 初级生产力结构研究”课题研究论文选编。文集中列入 8 篇论文，论述了南极普里兹湾及其毗邻南印度洋的近南极大陆海域和环南极大陆海域，浮游植物种类组成、丰度、现存生物量与初级生产力的粒度结构和颗粒有机碳的浓度，及其地理分布特征和环境调控机制，为南大洋生态系统的结构与功能，生物资源的调查与评估，海洋通量及全球气候变化等的研究提供了重要科学资料。

本文集可供科研、教学、水产和有关管理部门参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国海洋学文集 (9) / 宁修仁等著. — 北京: 海洋出版社, 1998. 1
ISBN 7-5027-4457-6

I. 中… II. 宁… III. 海洋学-文集 IV. P7-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 00804 号

海洋出版社出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京市燕山联营印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 6.75

字数: 171.2 千字 印数: 1~850 册

定价: 14.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

《中国海洋学文集》编辑委员会

顾问: (以姓氏笔划为序)

文圣常 任美镔 严 恺 陈国珍 汪德昭 林秉南 金德祥 陶诗言
戴安邦

主编: 苏纪兰

副主编: (以姓氏笔划为序)

刘光鼎 刘瑞玉 朱继懋 汪兆椿 张正斌 巢纪平

委员: (以姓氏笔划为序)

万邦和	王 荣	王 颖	王世勤	王绍武	石 松	石中瑗	甘子钧
丘书院	业治铮	孙玉善	关定华	纪明侯	许星煌	许振祖	汪品先
李玉成	李德尚	苏育嵩	张仁和	张家诚	张 鐸	张金标	陈吉余
陈伯乐	陈则实	陈邦林	陈宗镛	陈隆勋	吴宝铃	邱大洪	余宙文
邹仁林	林庆礼	郑文振	郑全安	承继龙	金翔龙	郭令智	夏世福
秦蕴珊	秦曾灏	顾宏堪	顾懋祥	袁耀初	黄士松	黄宗国	黄奕普
逮玉佩	龚锦涵	韩慕康	管秉贤	潜琬英	戴爱云		

前 言

“南大洋特定海域浮游植物现存量 and 初级生产力结构研究”系国家自然科学基金资助项目(编号: 49276266), 旨在查清南极普里兹湾及其毗邻南印度洋的近南极大陆海域浮游植物的种类组成、丰度分布、现存生物量和初级生产力及其粒度结构, 并查明其环境制约机制, 从而对研究南极海洋生态系统食物网的结构与功能, 评价南极海洋生物资源的丰度与分布和研究全球碳循环和气候变化提供重要科学资料。

本项目的海上实施结合“八五”南极系列项目而进行的, 对南极普里兹湾及其毗邻海域($62^{\circ}\sim 69^{\circ}\text{S}$, $58^{\circ}\sim 108^{\circ}\text{E}$)进行了上述项目4个航次(均为南极夏季)的观测研究, 并对环绕南极大陆海域进行了两个航次同类参数的大尺度航渡观测研究。这些观测在国际上也实属首次, 取得一系列重要结果, 达到预期的目标。同步观测的有水文、化学等多种环境要素。根据调查结果共完成了12篇专题研究论文及课题的综合研究报告, 并于1996年通过鉴定。

本文集选编了本课题成果中的8篇论文。其中6篇论述了在南极普里兹湾及其毗邻南印度洋的近南极大陆海域研究的结果, 2篇论述了在环绕南极大陆及穿越南大洋各自然地理区航渡观测的研究结果。综合本课题的主要研究成果包括: (1) 发现南极普里兹湾及其毗邻海域浮游植物生物量, 初级生产力和颗粒有机碳及其有关环境参数的分布存在着显著的空间区域化特征。普里兹湾及其毗邻陆架和调查海区东、西部的上升流区上述浮游植物参量均高于测区的中部和远东部, 其形成机制主要是水体的稳定度——真光层与混合层深度的相对差异; (2) 发现温跃层越浅越有利于浮游植物群落生物量的增长, 且水温和光强也会在一定程度上影响浮游植物生物量和生产力的分布; (3) 浮游植物对环境的影响存在着显著的反馈作用, 呈现浮游植物参量与盐度、营养盐浓度及真光层深度成负相关, 与水温、颗粒有机碳浓度和溶解氧浓度及其饱和度成正相关; (4) 粒度分级初级生产力和浮游植物生物量的研究表明, 微型($2\sim 20\mu\text{m}$)和微微型(小于 $2\mu\text{m}$)浮游生物是南极海洋浮游植物群落的重要组成部分, 它们对总生物量的贡献分别为: $40\%\sim 56\%$ 和 $4\%\sim 8\%$, 对总生产力的贡献分别为: $52\%\sim 69\%$ 和 $9\%\sim 31\%$, 从而阐明了微生物环(microbial loop)在南极海洋生态系统中的重要性 and 传统的南极海洋食物链“硅藻-磷虾-鲸”的缺陷; (5) 阐明制约不同粒级浮游植物生物量分布差异的关键因子是不同粒级浮游植物细胞的光和营养盐半饱和常数的差异及其环境的适应性, 即生物体与环境相互作用的结果; (6) 几个航次所观测的一致结果表明, 微微型浮游生物(picoplankton)对浮游植物群落总生产力的贡献要比其对总生物量的贡献来得大, 这是由于“pico”级份比表面积最大, 代谢生理活性高, 能量转换速率大的缘故, 从而可修正 Weber & El-Sayed (1986) 的相反结论; (7) 大尺度的南半球及绕极走航观测发现在南印度洋南极水域要比亚南极和亚热带水域肥沃, 营养盐、颗粒有机碳和浮游植物现存量均较高; 而在南极海域, 南大西洋要比南太平洋和南印度洋肥沃, 特别是在南斯科舍海-威德尔海浮游植物生物量、颗粒有机碳和营养盐浓度最高, 这与“岛群效应”和威德尔环流有关, 造就了南大洋最重要的磷虾产卵场; (8) 本研究还发现自南极水域经亚南极水域至亚热带水域浮游植物种类与丰度存在着显著的地理学演替现象, 即硅藻比重逐渐减小, 甲藻比重逐渐增加, 这主要是营养盐, 特别是硅酸盐的限制所致。

借此文集发表之际, 我们谨向国家自然科学基金委和国家海洋局南极办及其他支持我们

完成该课题的单位和同志表示感谢，向在调查船上提供支持和配合的其他有关专业人员和“极地”号的船长和船员表示谢意。

宁修仁

(国家海洋局第二海洋研究所，杭州 310012)

1997 年 10 月

INTRODUCTION

The project "Studies on the structures of standing stock and productivity of phytoplankton in the specific sea areas of the Southern Ocean" was funded by the National Scientific Foundation of China (No. 49276266). The project aims at clarifying the species composition and distributions of standing stock and productivity of phytoplankton and their size structure, and the governing environmental factors in Prydz Bay and the adjacent waters of the Indian sector of the Southern Ocean near Antarctic continent, thus, providing important scientific informations for better understanding of the structure and functions of food web of Antarctic marine ecosystems, evaluating the stock and distribution of Antarctic krill resources and estimating biogenic element cycles and the global climate changes.

The field work of this project were conducted by combining the present studies and one of the Chinese Antarctic series projects for the "8th Five-Year Plan", "Pre-studies on the investigations and development of Antarctic krill resources", which is a multidiscipline project and offers an excellent opportunity for our studies to relate physical and chemical environmental factors. Totally four cruises were conducted in Prydz Bay and the adjacent waters of the Indian sector of the Southern Ocean ($62^{\circ}\sim 69^{\circ}\text{S}$, $58^{\circ}\sim 108^{\circ}\text{E}$), and other two cruises conducted are large scale routine surveys semi-encircled Antarctic continent and crossed the Pacific, Atlantic and Indian sectors of the Southern Ocean, and various natural geographic zones, i. e. Antarctic, Subantarctic and Subtropical waters of the southern hemispheric Indian ocean. Up to date, no the same observations as such large scale studied sea areas have been found in the literature. On the basis of the results obtained above, a comprehensive studied report and twelve papers in the present project have been completed, and received an excellent appraisal from a special group composed of five high level Chinese scientists, organized officially in 1996.

The present special issue involves eight papers, among them, six papers deal with the results obtained from the observations in Prydz Bay and the adjacent waters of the Indian sector of the Southern Ocean; two papers deal with those obtained in the large scale routine surveys. Through these studies the major fruits obtained include: (1) The first researches on standing stock and productivity of phytoplankton and its governing mechanism of environment in the studied sea areas displayed a spatial zonation feature. Above phytoplankton parameters were higher in Prydz Bay and its adjacent continental shelf and the upwelling areas of the eastern and western studied sea areas than those in the middle and far eastern part of it. This was resulted from the water stability, i. e. the relative difference between euphotic and mixing depths; (2) It was found that shallow thermocline was favorable to the growth of phytoplankton biomass, and seawater temperature and light would also affect the distribu-

tions of biomass and productivity of phytoplankton; (3) Some obvious feedback action of phytoplankton on the environmental effects were observed, the negative correlation between phytoplankton parameters and salinity, nutrient concentrations and the euphotic depth, and the positive correlation between the phytoplankton parameters and seawater temperature, concentration of particulate organic carbon and dissolved oxygen concentration and its saturation were found; (4) The results of size-fractionated biomass and productivity of phytoplankton showed that nano- and pico-plankton were important components in Antarctic marine phytoplankton communities, their contributions to total phytoplankton biomass were 40%~56% and 4%~8% respectively, and to total productivity were 52%~69% and 9%~31% respectively, therefore, clarifying the importance of "microbial loop" in marine ecosystems of the Southern Ocean, and the defect of the classical food chain, "diatom-krill-whale", of Antarctic marine ecosystems; (5) The key factors governing the difference of distribution of different size fractions in phytoplankton biomass were the difference of Michaelis-Menten constants of the nutrient and light responses on the phytoplankton with different size fractions; (6) The same results obtained from the several cruises showed that the contribution of picoplankton to productivity of the phytoplankton assemblage is larger than its contribution to biomass of the assemblage, due to its large specific surface area and high physiological activity, as a result, the opposite conclusion made by Weber & El-Sayed (1986) may be modified; (7) Through the large-scale survey in the Southern Ocean we found that, in the Southern Indian Ocean, the Antarctic water is more fertile than the Subantarctic water and Subtropical water, within Antarctic waters, the Atlantic sector is the most fertile and has the highest biomass, cell abundance of phytoplankton and POC as well as nutrient concentrations, which results in the most important krill swarming grounds in the Weddell-Scotia confluence area. This is related to the so-called "island-mass effect" and Weddell Gyre; (8) A clear geographic succession in species composition and cell abundance of phytoplankton was found, i. e. the shift in major proportion of phytoplankton parameters from diatom in Antarctic water to dinoflagellates in Subtropical water was observed, which was attributable to nutrients, especially silicon, limitation.

Taking this opportunity of the special issue publication, the author is grateful to the National Natural Scientific Foundation of China (NSFC), Antarctic Administration of State Oceanic Administration (SOA), China, and other organizations and personnel who used to give us supports and helps for completing this project. We also wish to express our thanks to the captain and crews of the Antarctic oceanographic research vessel "Ji Di" for their helps.

Ning Xiuren

(Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China)

October, 1997

中国海洋学文集

9

目 次

1989/1990 年南极普里兹湾及其毗邻海域浮游植物现存量和生产力的粒度结构及其环境制约	1
..... 宁修仁 刘子琳 朱根海 史君贤	
1989/1990 年南大洋环极表层水浮游植物分级生物量、初级生产力和颗粒有机碳的分布	22
..... 刘子琳 宁修仁 朱根海 史君贤	
1989/1990 年南极普里兹湾及邻近海域微小型浮游植物研究	31
..... 朱根海 宁修仁 刘子琳	
1990/1991 年南极普里兹湾及其邻近海域浮游植物粒度分级生物量和初级生产力	42
..... 宁修仁 刘子琳 史君贤 朱根海 龚 敏	
1991/1992 年夏季南极普里兹湾邻近海域浮游植物现存量、初级生产力和颗粒有机碳的分布	55
..... 刘子琳 史君贤 陈忠元 朱根海 宁修仁	
1992/1993 年南极普里兹湾邻近海域浮游植物现存量和生产力的分布特征	67
..... 宁修仁 刘子琳 朱根海 蔡昱明 史君贤	
1992/1993 年南大洋环极表层水粒度分级叶绿素 a 和初级生产力的分布	80
..... 刘子琳 蔡昱明 史君贤 宁修仁	
1992/1993 年南极普里兹湾及其邻近海域微小型浮游植物分布特征	90
..... 朱根海 宁修仁 刘子琳	

OCEANOGRAPHY IN CHINA

9

CONTENTS

- 20.....Size structure of standing stock and production of phytoplankton and the environmental limitation in Prydz Bay and the adjacent Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 1989/1990
Ning Xiuren, Liu Zilin, Zhu Genhai and Shi Junxian
- 29.....Size-fractionated biomass and production of phytoplankton and particulate organic carbon at the surface water encircling the Antarctica during the austral summer of 1989/1990
Liu Zilin, Ning Xiuren, Zhu Genhai and Shi Junxian
- 41.....A study on distribution feature of nano- and micro-phytoplankton in Prydz Bay and its adjacent sea area, Antarctica during the austral summer of 1989/1990
Zhu Genhai, Ning Xiuren and Liu Zilin
- 53.....Size-fractionated standing crop and productivity of phytoplankton and POC in Prydz Bay and the adjacent waters during the austral summer of 1990/1991
Ning Xiuren, Liu Zilin, Shi Junxian, Zhu Genhai and Gong Min
- 66.....Distributions of standing crop and primary productivity of phytoplankton and POC in Prydz Bay and the adjacent area during austral summer of 1991/1992
Liu Zilin, Shi Junxian, Cheng Zhongyuan, Zhu Genhai and Ning Xiuren
- 78.....Distribution patterns of standing stock and production of phytoplankton in Prydz Bay and the adjacent sea area, of the Southern Ocean during the austral summer of 1992/1993
Ning Xiuren, Liu Zilin, Zhu Genhai, Cai Yuming and Shi Junxian
- 89.....Distributions of the size-fractionated chlorophyll a and primary production in the surface water encircling the Antarctica during 1992/1993
Liu Zilin, Cai Yuming, Shi Junxian and Ning Xiuren
- 97.....A study on distribution of nano- and micro-phytoplankton in Prydz Bay and its adjacent sea area, Antarctica during 1992/1993
Zhu Genhai, Ning Xiuren and Liu Zilin.

1989/1990年南极普里兹湾及其毗邻海域 浮游植物现存量和生产力的粒度 结构及其环境制约*

宁修仁 刘子琳 朱根海 史君贤

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

摘 要 本文报道了1989/1990年夏季在南极普里兹湾及其毗邻海域对浮游植物细胞丰度、优势种类组成, 生物量和初级生产力的粒度结构和颗粒有机碳的浓度测定及环境制约机制的研究。结果表明, 调查海区具有显著的空间区域化特征。普里兹湾中南部和湾北部及毗邻陆架, 由于水体较为稳定, 有利于浮游植物和冰藻的生长和繁殖, 其现存生物量 and 生产力均较高; 大陆坡和深海区明显降低。营养盐浓度由于浮游植物的消耗则有相反的分布趋势。分级叶绿素a的结果表明, 对调查海区叶绿素a的贡献, 小型浮游生物为52%, 微型为40%, 微微型为8%; 对初级生产力的贡献, 小型为17%, 微型为52%, 微微型为31%。可见微型和微微型浮游生物在浮游植物群落中的重要性。与以往的结论不同, 微微型浮游生物对初级生产力的贡献要大于对生物量的贡献。高的光合作用同化数出现在微微型浮游植物, 反映了其高的代谢生理活性。文章还对控制研究海区生物量和生产力的因素, 诸如水层的垂直稳定性、温度、光照和营养盐等进行了深入的分析。文章将本研究的结果与其他作者在南极其他海域所得数据进行了较为系统的比较。

关键词 浮游植物 现存量 生产力 粒度结构 环境制约 南极

前 言

浮游植物现存生物量和初级生产力是生物海洋学研究的重要内容, 是海洋生态系食物网的结构与功能的基础环节。在南大洋, 浮游植物又是磷虾的主要饵料, 是供养和维持巨大磷虾资源的物质基础。另一方面, 海洋浮游植物的光合作用固定巨大数量的二氧化碳, 从而对全球气候变化的调节起着重大作用。因此, 南大洋浮游植物现存生物量 and 初级生产力的研究不仅对研究南大洋生态系的结构与功能和全球碳循环具有重要的理论意义, 而且对研究磷虾的丰度与分布也具有重要的实际意义^[1~3]。不同细胞大小的浮游植物的分布在海洋生态系自然群落的结构和营养关系中起着重要作用^[4,5], 对于了解捕食者(如磷虾)群体的特性与丰度

* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 49276266)。

也提供重要信息,不同发育阶段的磷虾很可能摄食不同细胞大小的浮游植物^[6,7]。由于方法的限制,过去的研究工作从经典的食物链“硅藻-磷虾-鲸”的概念出发,大多着重于网采浮游生物(Netplankton,大于20 μm 的小型浮游生物细胞)。近10年的研究工作已经证明,如同世界其他海域,南大洋浮游植物大多以微型的(Nanoplankton,细胞小于20 μm)占优势,对浮游植物生物量和生产力有较大贡献而倍受重视。在南大西洋的象岛(Elephant Island)附近水域、德雷克海峡(Drake Passage)、布兰斯费尔德海峡(Bransfield strait)和威德尔海(Weddell Sea),微型浮游生物对浮游植物生物量和初级生产力的平均贡献分别达72%和64%^[1,8~10]。在南印度洋的极地海域[皇后毛德地(Queen Mand Land)和恩德比地(Enderby Land)的近海和澳大利亚南部],微型浮游生物对浮游植物生物量和初级生产力的平均贡献分别占50%和53%^[11~13]。

微微型光合浮游生物(photosynthetic picoplankton,细胞小于2.0 μm)在海洋中的存在是十几年前发现的,但只是在近几年才被海洋生态学家公认它是世界海洋的大多数海区光能自养浮游生物的重要组成部分。由于其代谢活性高,繁殖快,而对浮游植物生物量的增长起重要作用^[14,15],在热带海洋可高达80%^[16],在亚热带的大西洋可达60%^[17],在温带的凯尔特海(Celtic Sea)达30%^[15]。直到1986年在南极海域才第1次研究了微微型浮游生物对浮游植物总生物量和初级生产力的贡献。例如,在Bransfield Strait和Drake Passage微微型浮游植物的生物量可占总浮游植物的40%^[18],在Enderby Land近海可达42%,对初级生产力的贡献可达32%^[11]。可见微微型光合浮游生物是海洋浮游生物群落中的重要组成部分,它们在海洋生态系物质循环和能量流动中起着重要作用。Iturriaga & Mitchell^[19]指出,微微型光合浮游生物是如此之丰富,它的数量比其摄食者——微型异养浮游生物(Heterotrophic nanoplankton)高一个数量级,以致可足以作为后者的食物源,而后者又为浮游动物(在南大洋主要是磷虾)所摄食,从而进入高营养阶层,最终影响生物资源的生产。这就是近年来倍受海洋生态学家重视的作为海洋生态系食物网中一个重要组成部分的“微型生物食物圈(Microbial food loop)”,因此微微型光合浮游生物的生物量和生产力也是微型生物食物圈研究的重要内容。

但是,与世界其他海区相比,在南极海域微型特别是微微型光合浮游生物的生物量和初级生产力的研究要少得多,而且大多集中在南大西洋,而在南印度洋则更少,在普里兹湾(Prydz Bay)及其毗邻海域尚未见报道。本研究为普里兹湾及其毗邻南极海域浮游植物现存量和初级生产力及其细胞粒度结构的分布特征和环境制约机制提供与之可对比的科学资料。

1 材料和方法

1.1 采样

1990年1~3月于南极普里兹湾及其毗邻南印度洋(63°00'~69°30'S, 64°00'~80°00'E),使用“极地”号(“Ji Di”)船进行了观测和采样。在湾的中南部设6个采样站(B1~6),在湾的北部及其毗邻海域垂直于海岸线设4条断面共28个测站。每条断面穿越陆架、陆坡和深海3个不同的自然区(图1)。

海水样用球盖式的Q_{2.3}型采水器(青岛海洋仪器仪表研究所制),按表层、25、50、100、150和200 m 6个层次采集,用以叶绿素、浮游植物和颗粒有机碳(POC)的测定。光合作用

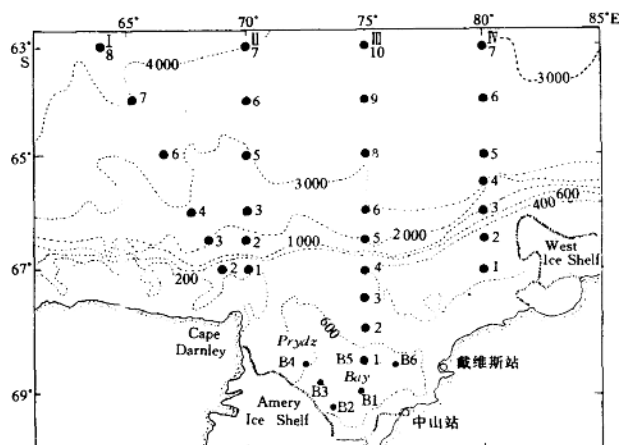


图1 调查海区的地形和站位分布

速率和潜在初级生产力测定用水样, 按海面入射光衰减至 100%、50%、32.5%、10%、3% 和 1% 的深度采集, 这些层次的确定是使用 Secchi 盘读数, 按 Poole & Akins^[20] 的方法求得。

网采浮游植物, 使用小型浮游生物网^[21], 自水深 200m 至表层垂直拖曳采集, 样品立即用中性福尔马林固定保存。取 500cm³ 采水浮游植物样品, 亦加中性福尔马林固定保存。

1.2 方法

水温观测和盐度测定用水样的采集, 用具颠倒温度计的南森瓶, 盐度测定用耦合式感应盐度计按规范^[21]进行。化学营养盐 (NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-}) 的测定系使用相同层次的水样, 按经典的分光光度法^[22]。

叶绿素 a (Chl a) 和脱镁叶绿素 (Phaeop.) 的测定系采用 Holm-Hansen *et al.*^[23] 的萃取荧光法。过滤 250cm³ 水样, 色素用 90% 丙酮萃取 24h, 用唐纳荧光计 (Turner Designs Fluorometer, Model 10) 进行测定。浮游植物碳 C_{ph} 按 $\text{Chl a} \times 60$ 计算^[24]。

光合作用速率和潜在初级生产力的测定系按 Steemann Nielson^[25]、Evans *et al.*^[26] 和 Ning *et al.*^[27] 的方法进行。自每个光层次采得的水样, 注入 2 个 250cm³ 的平行白瓶和 1 个 250cm³ 的黑瓶中, 每瓶加入 3.7×10^5 Bq $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$, 置于甲板模拟现场培养器中培养 3~6h。该培养器具不同中性光密度的筛网用以控制光强, 使分别与原采样层次的光强相一致。该培养器具表层海水泵取循环系统, 以使培养期间保持在现场的温度。培养完毕, 水样过滤, 滤膜经浓盐酸薰蒸后, 干燥和避光保存, 带回实验室使用 LKB 1215 型液体闪烁计数器进行 β 计数, 计数效率用外标准道比法测定。

取 2~3dm³ 水样, 通过预灼烧 (450℃, 24h) 的 Whatman GF/F 滤膜过滤, 截留有颗粒物的滤膜低温 (低于 -20℃) 保存, 带回实验室进行 POC 定量测定, 方法按 Parsons *et al.*^[28]。

所有水样收集前, 经 280 μm 孔宽的筛绢预过滤, 以除去大多数的浮游动物。叶绿素和光合作用速率细胞粒度分级测定用水样经孔宽 20 μm 的筛绢 (分离小型和微型浮游生物), 孔径 2.0 μm 的 Nuclepore 滤膜 (分离微型和微微型浮游生物) 和最终经 Whatman GF/F 滤膜 (截留微微型浮游生物) 过滤。在某些情况下, 未经孔径 2.0 μm 的 Nuclepore 滤膜过滤, 这样 What-

man GF/F 滤膜所截留的是微型和微型浮游生物之和(N+P)。

浮游植物的种属鉴定和细胞计数使用 Olympus 光学显微镜和电子显微镜在实验室进行。

2 结果

2.1 普里兹湾及其毗邻海域环境概况

2.1.1 地形

普里兹湾是南极大陆周沿凹进的一个近似三角形的海湾,面积约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$,湾的顶部与艾默里冰架(The Amery Ice Shelf)相接,湾口的东西两侧分别为伊丽莎白公主地(Princess Elizabeth Land)和达恩利角(Cape Darnley)。湾内水深以南部较深(大于700m),向东北和西北逐渐变浅,那里分别是四女士浅滩(Four Ladies Bank)和福拉姆浅滩(Frame Bank),浅滩中心处浅于200m,400m等深线南北范围约一个纬距,占据了普里兹湾北部及其两侧大陆架的大部分区域。向北水深1000~3000m的大陆坡大约位于 $65^\circ \sim 66^\circ 30' \text{ S}$ 范围,东部陡度较大,西部较为平缓。大陆坡以北为深水开阔洋区,海底地形较为平坦(图1)。因此,根据地形分析,调查海区可分为4个区域:普里兹湾中南部、湾北部及毗邻陆架、大陆坡和深水大洋区。

2.1.2 真光层深度

真光层深度(DE)的总分布趋势是,自普里兹湾内向湾外逐渐增深,自近岸陆架向外海逐渐增深。以断面Ⅲ(75° E)为例,位于湾中部的站Ⅲ1真光层深度为26m,位于大陆坡的站Ⅲ5增至52m,深海区的站Ⅲ10增至65m。其他断面分布情形相似。如按上述4个区来比较真光层的平均深度,普里兹湾中南部为28.7m,湾北部及毗邻陆架为30.9m,大陆坡为51.2m,深海区为55.5m(表1)。

2.1.3 水文状况

调查海区位于南极极锋线以南。根据表层水温的径向变化可判知南极辐散带大约在 $65^\circ \sim 66^\circ \text{ S}$ 附近。由于夏季太阳辐射和海冰融化,形成相对温暖(大于 0° C)低盐(小于34)的夏季表层水覆盖在跃层之上,其厚度自北向南逐渐减薄。以断面Ⅲ为例,夏季表层水的厚度在此即温跃层深度从深海大洋区的约60m减到大陆坡区的约50m,至陆架和湾北部的约25m(图2a, b)。在温盐跃层之下,相对低温(小于 1° C),中盐(34.20~34.50)的南极冬季水占据了水深200m以浅的大部分空间,而相对温暖(大于 0° C)高盐(大于34.50)的南极绕极深层水在200m以浅水层只占据了调查海区很小一部分,即位于大约 64° S 以北的125m以深(图2a, b)。温盐跃层的深度范围大约在10~100m,其中湾的北部大多在25~50m,陆坡和深海区大多在50~100m(图2a, b)。

普里兹湾中南部的西侧(站B1、3和4)夏季表层水的厚度仅大约10m(图3a),可能与此处靠近普里兹湾垂直环流的辐散中心,受底层水涌升的影响有关;东部的站B5和B6夏季表层水增厚(图3a),可能与来自辐散中心的表层水在此堆集有关¹⁾。湾内25m以浅水体相对温暖(大于 0° C),特别是在靠近艾默里冰架一侧,表层水温可达 3° C ,这与来自南极大陆的

1) 侍茂荣。普里兹湾海水垂直环流研究。待刊。

表 1 1990 年 1~3 月南极普里兹湾及其毗邻海域真光层叶绿素 a、
颗粒有机碳及有关参数¹ 的平均值 ($\bar{X} \pm SD$)

海 区 ²	区 1. 普里兹湾 中南部 (n=6)	区 2. 湾北部 及毗连陆架 (n=8)	区 3. 大陆坡 (n=8)	区 4. 深海区 (n=12)	调 查 海 区 总 平 均 (n=34)
ED (m)	28.7±1.4	30.9±5.8	51.2±10.3	55.5±8.1	44.0±12.0
t (°C)	2.28±0.36	-0.50±0.76	-0.07±0.59	0.36±0.76	0.40±1.13
S	34.15±0.21	33.97±0.54	33.73±0.23	33.54±0.29	33.99±0.40
DO (mg/dm ³)	8.29±0.45	7.95±0.45	7.84±0.34	7.84±0.22	7.95±0.22
NO ₃ (μmol/dm ³)	9.83±6.22	24.87±3.38	32.17±4.92	31.80±3.17	26.38±8.32
PO ₄ (μmol/dm ³)	0.61±0.33	1.21±0.32	1.69±0.20	1.74±0.35	1.40±0.42
SiO ₃ (μmol/dm ³)	21.36±8.36	41.37±8.56	41.64±6.18	38.56±5.29	36.91±7.43
Chl a (μg/dm ³)					
Net	0.58±0.23	1.58±0.83	0.06±0.06	0.09±0.08	0.52±0.28
N+P	0.34±0.18	0.23±0.14	0.15±0.09	0.16±0.09	0.20±0.12
Sum	0.92±0.34	1.81±0.86	0.22±0.14	0.25±0.16	0.72±0.35
C _{N+P} /C _S (%)	35.7±13.0	16.1±10.2	72.5±10.9	65.7±10.1	50.3±25.2
PR					
Net	0.83±0.04	0.83±0.04	0.70±0.12	0.79±0.14	0.79±0.05
N+P	0.72±0.13	0.84±0.11	0.82±0.05	0.84±0.04	0.81±0.05
Sum	0.80±0.05	0.84±0.04	0.78±0.08	0.83±0.07	0.81±0.02
PA (×10 ³ ind./dm ³)					
网样	12.18±4.40	32.13±29.33	1.17±1.02	2.20±1.64	10.76±12.46
水样	302.75±140.51	52.16±71.91	1.24±0.78	2.35±2.01	73.79±116.26
POC (μg/dm ³)	136.3±49.3	120.2±21.6	79.3±12.5	68.5±19.0	97.6±27.9
C _{ph} /POC	0.48±0.18	0.90±0.54	0.24±0.30	0.30±0.24	0.48±0.24

1. 参数. C_{N+P}/C_S (%): 微型和微微型浮游植物叶绿素 a 在总浮游植物群落叶绿素 a 中所占百分比; PR: 色素比 [Chl a/(Chl a+Phaeop.)]; C_{ph}: 浮游植物碳.

2. 各海区包括的站位. 区 1: B1~6; 区 2: 12, 11, 11~4, N1, 2; 区 3: 13, 4, 12, 3, 5, 15, 6, N3; 区 4: 16~8, 16, 7, 18~10, N4~7.

下降风将该区域浮冰吹向湾北部有关. 因而自此向东偏北, 水温逐渐降低 (图 3b), 同时与冷的陆架水沿西冰架海域流入普里兹湾东部^[29]而产生的影响有关. 湾内中南部温度低于 0°C 的水体出现在 40 (湾西侧)~70m (湾东侧) 以深; 盐度普遍高于 34, 低于该值的区域仅出现在站 B4 和 B5 的 25m 以浅 (图 3c).

在四女士浅滩东侧和福拉姆浅滩, 有大量冰山和浮冰聚集, 可能分别与来自西冰架的冰山向西漂流受到四女士浅滩的阻挡和来自艾默里冰架的冰山沿普里兹湾西侧向北部的达恩利角运动受到福拉姆浅滩的阻挡, 再加上陆缘浮冰的掺杂所致. 该区域水温和盐度普遍较低 (温度低于 0°C, 盐度小于 34), 例如, 在站 N2 的表层, 温度为 -1.63°C, 盐度为 32.48.

比较上述 4 个区真光层的平均值 (表 1) 可见, 水温以普里兹湾中南部最高, 湾北部及毗邻陆架最低, 自此向北渐次增高; 盐度以湾中南部最高, 向北依次略有降低.

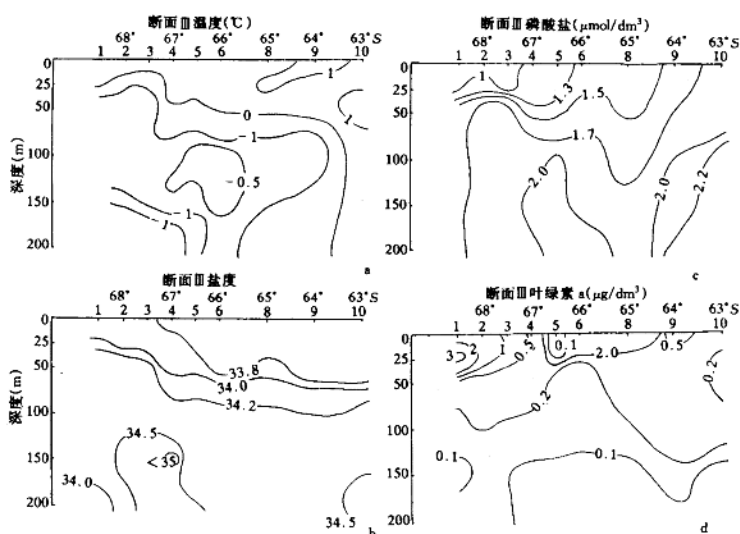


图2 断面Ⅲ (75°E) 有关要素的垂直分布

a. 水温 (°C) b. 盐度 c. PO_4 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) d. Chl a ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

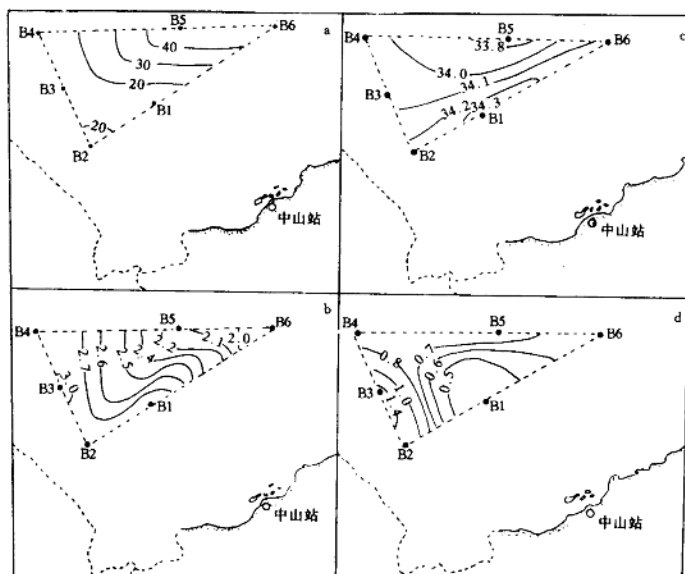


图3 普里兹湾中南部有关要素的平面分布

a. 夏季表层水的厚度 (m) b. 表层水温 (°C) c. 盐度 d. Chl a ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

2.1.4 溶解无机营养盐

真光层内营养盐总的分布趋势是, 湾内中南部浓度最低, 向北逐渐增高. 特别是 PO_4 , 其平均值深海区要比湾中南部高近 2 倍, 而 NO_3 和 SiO_3 平均浓度以大陆坡最高, 较湾中南部高 1~2 倍, 向深海区稍有降低 (表 1). 在湾中南部西侧 (站 B2、3 和 4) NO_3 和 PO_4 出现调查

海区的最低值 (NO_3 小于或等于 $6\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, PO_4 小于 $0.5\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, SiO_2 在站 B2 也出现最低值 ($12.18\mu\text{mol}/\text{dm}^3$), 这恐与浮游植物的旺发消耗有关 (图 4).

在垂直分布方面, 伴随着温、盐的层化, 营养盐也出现跃层, 其出现的深度范围与温、盐跃层基本一致. 在跃层之上, 营养盐浓度较低, 跃层之下浓度明显增高 (图 2c).

上述理化环境状况极大地影响着浮游植物的生长与分布; 反之, 浮游植物的生命活动也显著地改变海区的环境.

2.2 浮游植物现存量和优势种类

2.2.1 粒度分级叶绿素 a (Chl a)

调查海区 Chl a 的高值区出现在陆架近岸的浮冰区 (如站 I 2、I 1、N 1、N 2) 和普里兹湾的中部 (站 I 1 和 I 2) 及西侧 (站 B2 和 B3), 其浓度均在 $1\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 以上; 大陆坡和深海区 Chl a 浓度一般低于 $0.5\mu\text{g}/\text{dm}^3$. 最大值出现在站 N 1 的表层 ($4.556\mu\text{g}/\text{dm}^3$), 最小值为 $0.013\mu\text{g}/\text{dm}^3$, 出现在站 I 8 的 200m 层 (图 5).

在垂直分布方面, 跃层之上 Chl a 浓度较高, 跃层之下其浓度一般低于 $0.2\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (图 2d), Chl a $0.2\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 等值线与等温线 -1°C , 等盐线 34.2, PO_4 等值线 $1.7\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 的位置大体一致 (图 2).

粒度分级 Chl a 的结果表明, 大陆坡和深海区小型浮游生物 (Net-plankton, 细胞大于 $20\mu\text{m}$) 对 Chl a 总量的贡献较小, 其真光层平均值分别占 29% 和 35% (表 1, 图 5), 其水深 200m 至表层的平均值分别占总量的 36% 和 43% (图 6); 而在普里兹湾北部及毗邻陆架, 真光层 Chl a 平均值中 Net 级份平均贡献可达 87%, 在湾的中南部达 65% (表 1, 图 5), 其在水深 200m 至表层的平均值分别占总量的 78% 和 59% (图 6). 与 Net 级份对 Chl a 总量的贡献的区域变异相反, Nano (微型, $2.0\sim 20\mu\text{m}$) 和 Pico (微微型, $0.2\sim 2.0\mu\text{m}$) 级份之和在 Chl a 总量中所占的比重, 在大陆坡和深海区要比湾中南部和湾北部及毗邻陆架区大得多, 即在这 4 个区真光层平均 Chl a 中 Nano+Pico 级份的贡献分别占 71%, 65%, 35% 和 13% (表 1, 图 5); 其在水深 200m 至表层的平均值分别占 64%, 57%, 41% 和 22% (图 6), 尽管前

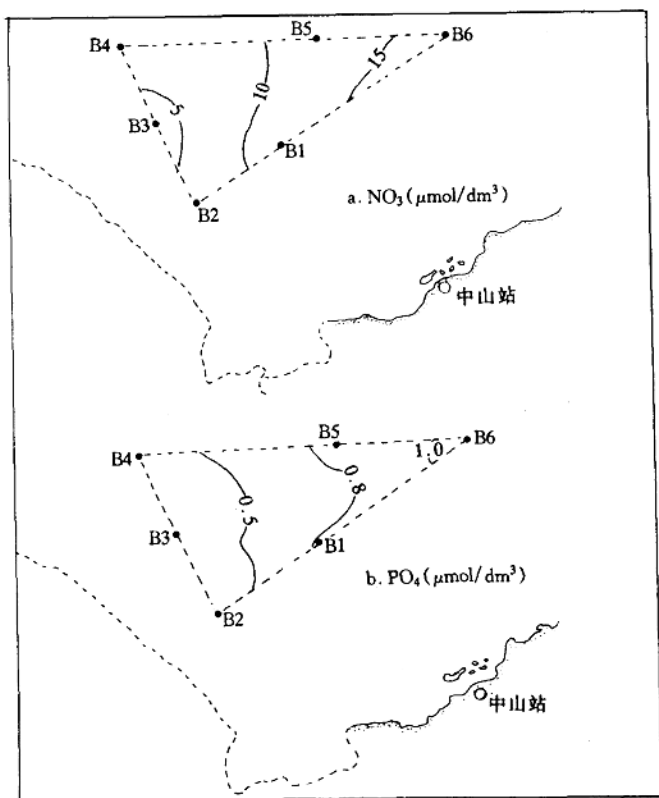


图 4 普里兹湾中南部真光层平均 NO_3 和 PO_4 浓度的分布