

南沙群岛海区 生态过程研究(一)

A STUDY ON ECOLOGICAL PROCESSES
OF NANSHA ISLANDS SEA AREA I

中国科学院南沙综合科学考察队

黄良民 主编

科学出版社

Science Press

南沙群岛海区 生态过程研究(一)

中国科学院南海海洋研究所 编
中国海洋出版社 出版

（中国科学院南海海洋研究所 编）

1994. 12

南沙群岛海区生态过程研究(一)

A STUDY ON ECOLOGICAL PROCESSES
OF NANSHA ISLANDS SEA AREA I

中国科学院南沙综合科学考察队

黄良民主编

科学出版社

Science Press

1997

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本文集系“八五”国家专项“南沙群岛及其邻近海区综合科学考察”研究成果之一。主要包括南沙群岛海区叶绿素和初级生产力的时空分布、最大值及其与氧、氮、磷、温度、盐度、跃层强度、上均匀层厚度以及光学、水动力等环境因子的关系及其相关模式,用生物光学方法研究初级生产力并建立生物-光学模型,遥感测量叶绿素,珊瑚礁潟湖初级生产量及海区的弧菌生态等。为今后深入系统研究热带海洋生态过程和海洋通量、开发海洋生物资源等提供理论基础。

本书可供海洋生物、海洋物理、海洋化学、物理海洋学、水产、环境保护等方面的科技人员和大专院校有关专业的师生参阅。

南沙群岛海区生态过程研究 (一)

A STUDY ON ECOLOGICAL PROCESSES
OF NANSHA ISLANDS SEA AREA I

中国科学院南沙综合科学考察队

黄良民 主编

责任编辑 钟如松

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

(邮政编码 100717)

广东省出版技工学校南海市河东联营彩印厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997年5月第1版 开本: 787×1092 1/16

1997年5月第1次印刷 印张: 10 1/2

印数: 001—500 字数: 242000

ISBN 7-03-006060-1/P·991

定价: 22.00 元

序 言

该专集是南沙考察成果的重要组成部分。在“八五”期间,该专题组科技人员通过现场调查取得了大量数据,并结合以往积累的资料,从生态学角度,对南沙群岛海区的叶绿素和初级生产力的时空分布及其与环境因子之间的关系进行了较深入的研究;探索了南沙群岛海区初级生产力非均一性分布规律;分析了次表层叶绿素 a 最大值的形成机制;提出了水动力、营养盐等因素与叶绿素和初级生产力的相关模式以及生物-光学模式和卫星遥感叶绿素计算初步模式等。这些结果对今后系统地研究热带海区生态过程和生物生产力,持续地利用南沙群岛海区生物资源,都具有现实意义。

“八五”国家专项—南沙群岛及其邻近
海区科学考察项目总负责人 陈清潮

1996-03-08

前 言

生态过程是现代生态学研究的核心内容。在海洋生态学研究中,生态过程则是其中最活跃的前沿领域之一,它的研究内容包括海洋生物生产过程和生物与环境之间的相互作用,将物理海洋学、海洋化学与生物海洋学联系起来,形成多学科交叉、综合探索海洋现象的中心环节;同时它又是维护海洋生物资源持续利用与环境保护不可缺少的一项基础工作。因此,海洋生态过程的研究,无论对揭示海洋自然现象或开发利用海洋生物资源都具有重要的理论和实际意义。

《南沙群岛海区生态过程研究(一)》是在 85-927-03-03 专题组科研人员的共同努力,在“南沙综合科学考察”项目总负责人陈清潮教授和有关课题组专家们的大力支持下,经过多年现场调查所取得的大量资料,并通过综合分析撰写而成。书中着重对南沙群岛海区叶绿素和初级生产力的空间分布,及其与生源要素、溶解氧、温度、盐度、跃层强度、上准均匀层厚度等环境因素之间的关系进行较深入系统的分析,指出形成该海区次表层叶绿素 a 最大值的关键因子是氮、磷和跃层强度;上准均匀层氮贫乏的主要原因是初级生产者的大量消耗和缺乏陆源物质的补充;从三氮之间的不平衡状态反映出次级生产者的排泄物和碎屑分解,使 NH_4^+-N 成为该海区无机氮的主要化合态; NO_2^--N 薄层的形成是 NH_4^+-N 硝化反应的结果,并由此推测次表层-生物高产层可能存在较丰富的海洋细菌或其它超微型生物,为研究该海区的生物生产力结构、探索次表层高生产量的形成机制提供理论基础。书中以大量的实测资料,通过定量分析,提出了该海区现场荧光法测量叶绿素的经验公式;海水荧光强度及叶绿素的垂直分布模式;初级生产与环境因子之间的多元回归方程;生物-光学模型等,并从理论上加以解释。采用模糊聚类方法对叶绿素 a 和水环境特征区域类型进行划分,探索水环境特征的时空变化规律,为划分水团分布提供了重要的科学依据。总之,该书围绕海洋生物生产力与生态过程进行了初步的探索,并提出一些新的论点和认识。因此,该书的面世,对今后综合研究海洋现象和开发利用海洋生物资源、推动海洋科学的发展等将会有所帮助。

该文集的论文分别由陈清潮研究员、潘金培研究员、钟其英研究员、何悦强研究员、陈真然研究员、谢伦教授、崔世淦教授审稿；余善、黄良民、曹文熙和刘胜负责英文翻译，英文译审由潘宇完成；图件由许跃萌清绘。在此一并致谢。

由于时间匆促，经费有限，研究工作尚属初步，加上作者的水平限制，书中难免存在错漏或不足之处，敬请专家、读者提出批评指正。

黄良民

1995-12-08

Introduction

Ecological process is a core content of modern ecology while marine ecological process has become one of the most active pioneer fields in the study of marine ecology. Study on marine ecological process, including the production process of marine organisms and the relationships between organisms and environments, is a cross field or combination of disciplines such as physical oceanography, marine chemistry and biological oceanography, a central link for the comprehensive exploration of marine phenomena, and, at the same time, a necessary and basic step for maintaining of the sustainable use of marine biological resources and the protection of marine environments. Therefore, it is very important in both theory and practice to study marine ecological process for the purpose of better understanding marine natural features and utilizing marine biological resources.

"A Study on Ecological Processes of Nansha Islands Sea Area" is one of the research results of the special project (No. 85-927-03-03) of the program "Multidisciplinary Expedition to Nansha Islands". Through comprehensive analysis on large amount of materials obtained in situ from many cruises, this monograph was written and compiled with the joint effort of all personnel in the project group and the support from Professor Chen Qingchao, general director of the program, and pertinent experts of other project groups. Spatial distributions of chlorophyll in Nansha Islands and adjacent sea areas, and their relations with biogenic matter, dissolved oxygen, temperature, salinity, thermocline intensity, thickness of upper uniform layer, etc., are systematically described and analyzed. It is pointed out that N, P, and thermocline intensity are the major factors for the formation of chlorophyll-a maximum value in the subsurface layer, and that the devoid of N in the upper uniform layer is resulted from the massive consumption of N by primary producers and the lack of supplement of biogenic matter from land. The unbalanced status among the concentrations of ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrite ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) and nitrate ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) shows that ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) is the main type of compound taken by inorganic nitrogen because of the excreta from secondary producers and the decomposition of detritus, and that the thin layer of nitrite ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) in the subsurface is resulted from the nitrification of ammonium. Based on above findings, it is suggested that relatively abundant marine bacteria or other picoplankton exist in the subsurface layer, a layer with high production. This suggestion provides theoretic-

cal foundation for the study on the structure of biological productivity and the forming mechanism of high production in the subsurface layer. Through quantitatively analysis on larger amount of materials measured in situ, an experience equation for the measurement of chlorophyll content with fluorometry, a vertical distribution model of chlorophyll with fluorescent intensity, a multi—unknown—quantity regression equation showing the relation between primary production and environmental factors, and a bio-optical model, etc., are formulated with theoretical explanations for the very sea areas. Water environments are divided into different regional types according to chlorophyll-a and physicochemical factors by use of fuzzy cluster method in order to explore the law governing the spatial-temporal variation of water environmental characteristics. Results of the division provide important scientific criteria for the zonation of water masses. In general, initial expositions on marine biological productivity and ecological process are carried out while some new understandings and viewpoints are presented in the book. Therefore, it is my belief that this collection of papers will be helpful for the further study on marine phenomena, the better utilization of biological resources, and the development of marine sciences.

We regret that, however, there may be some mistakes in this collection of papers because of pressing time and limitation of our knowledge. Please inform us with your valuable comments.

Huang Liangmin

December 8, 1995

目 录

序言	陈清潮 (Ⅲ)
前言	黄良民 (Ⅳ)
南沙群岛海区冬季叶绿素 a 分布及初级生产力估算	黄良民、陈清潮 (1)
南沙群岛海区次表层叶绿素 a 与氧等理化因子的关系	王汉奎、黄良民 (16)
南沙群岛海区冬季初级生产的限制因子研究	陈绍勇、黄良民、韩舞鹰 (37)
南沙群岛海区叶绿素 a 的区域分布及其影响因素	黄良民、王汉奎 (49)
用生物光学方法研究南沙群岛海区的初级生产力	曹文熙、钟其英、黄良民 (66)
南沙群岛海区真光层生物-光学模式的初步研究	
.....	曹文熙、杨跃忠、卢桂新、钟其英、黄良民 (83)
南沙群岛一些珊瑚礁潟湖初级生产力的初步研究	
.....	黄良民、王汉奎、陈清潮、张建林 (102)
南沙群岛西部海区冬季的弧菌生态研究 I. 数量分布及其与环境要素的关系	
.....	沈鹤琴、周毅频、蔡创华 (114)
南沙群岛海区叶绿素遥感测量初探	
.....	徐瑞松、马跃良、何在成、曾 提、刘宝泉、黄良民、谭络珈 (133)
南沙群岛海区初级生产力和浮游动物研究 10 年	黄良民、尹健强、陈清潮 (143)

Contents

Preface	Chen Qingchao (Ⅲ)
Introduction	Huang Liangmin (Ⅵ)
Distribution of Chlorophyll-a and Primary Productivity of Nansha Islands Sea Area in Winter	Huang Liangmin, Chen Qingchao (12)
Relationships of Chlorophyll-a with Dissolved Oxygen and Other Physicochemical Factors in the Subsurface Layer of Nansha Islands Sea Area	Wang Hangkui, Huang Liangmin (30)
Studies on Limiting Factors of Primary Production of Nansha Islands Sea Area	Chen Shaoyong, Huang Liangmin, Han Wuying (46)
Regional Distribution of Chlorophyll-a and Its Relations Ecological Factors in Waters of Nansha Islands	Huang Liangmin, Wang Hankui (61)
Use Bio-Optical Method to Estimate the Primary Productivity in Nansha Islands Sea Area	Cao Wenxi, Zhong Qiying, Huang Liangmin (78)
A Study on Bio-Optical Models for Euphotic Layer of Nansha Islands Sea Area ...	...Cao Wenxi, Yang Yuezhong, Lu Guixin, Zhong Qiying, Huang Liangmin (98)
A Study on Primary Productivity in Some Coral Reef Lagoons of Nansha Islands	Huang Liangmin, Wang Hankui, Chen Qingchao, Zhang Jianlin (110)
A Study on Vibrio Ecology in Western Sea Areas of Nansha Islands During Winter Season	Shen Heqin, Zhou Yiping, Cai Cuanghua (128)
Preliminary Study on Chlorophyll Remote Sensing in Nansha Islands Sea Area ...	Xu Ruisong, Ma Yueliang, He Zaicheng, Zeng Ti, Liu Baoquan, Huang Liangmin, Tan Luoja
Studies on Primary Productivity and Zooplankton in Nansha Islands Sea Area Over Last Ten Years ...	Huang Liangmin, Yin Jianqiang, Chen Qingchao (150)

南沙群岛海区冬季叶绿素 a 分布及 初级生产力估算*

黄良民 陈清潮

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

提 要

根据 1989 年 12 月和 1993 年 12 月的调查资料, 着重探讨南沙群岛海区 ($3^{\circ}22' - 12^{\circ}10'N$, $107^{\circ}30' - 117^{\circ}10'E$) 冬季叶绿素 a 和初级生产力的分布特征及其与水文、化学环境因子的关系。分析结果表明, 该海区冬季叶绿素 a 含量略高于春、夏季, 测值范围在 $0 - 1.75\text{mg}/\text{m}^3$ 之间, 平均为 $0.22\text{mg}/\text{m}^3$ 。垂直分布曲线呈单峰型为主, 表层叶绿素 a 含量较低, 高值层的分布深度比春、夏季的浅, 在主温跃层的中上部, 约 60% 测站的最高值出现在 50m 层, 其次是 75m 层 (约 20%), 少数测站在 30m 或 100m 层出现较高值。水平变化以调查区西南部浅海区和马来西亚近岸海区较高, 向西北部海区递减。叶绿素 a 的这些分布特点主要与海水温跃层、光学和营养盐等要素有关。冬季该海区初级生产力平均为 $269\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 比春、夏季的略低, 其平面分布与叶绿素 a 的变化趋势相似。

关键词: 南沙群岛海区, 叶绿素 a, 初级生产力, 环境因子

近 10 年来, 对南沙群岛海区的叶绿素和初级生产力曾进行过一些研究^[1-5], 但研究工作都以春、夏季为主。中国科学院南海海洋研究所“实验 3”号考察船于 1989 年和 1993 年在南沙群岛海区进行了二个冬季航次的综合调查, 本文根据所获资料, 着重分析该海区冬季叶绿素 a 和初级生产力的空间分布特点, 并与春、夏季作比较, 为进一步研究该海区生态系统与生物资源提供理论基础, 也为探索热带海洋学和海洋通量积累科学资料。

1 材料与方法

1989 年 12 月的调查航次设 36 个测站, 1993 年 12 月的调查航次设 35 个测站, 调查范围在 $3^{\circ}22' - 12^{\circ}10'N$, $107^{\circ}30' - 117^{\circ}10'E$ 之间 (图 1)。在“实验 3”号船上用多瓶采水器或 GCC-2 型有机玻璃采水器分层采水, 水层分别为 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200m 等, 也有少数测站以 10m 分层采水样, 水样在船上立即作减压过滤, 滤膜微孔径为

* 蔡创华、曾 提、杨汉新、尹健强等参加海上采样工作, 谨此致谢。

0.45 μ m, 样品低温 (-20℃左右) 保存, 运回实验室采用荧光法测定^[2,6] (Turner10 型 荧光计)。初级生产力根据 Cadée 1975 年的公式估算^[7]。现场还作海水荧光强度测定, 以期比较分析。其它资料引自有关专业同步调查的数据。

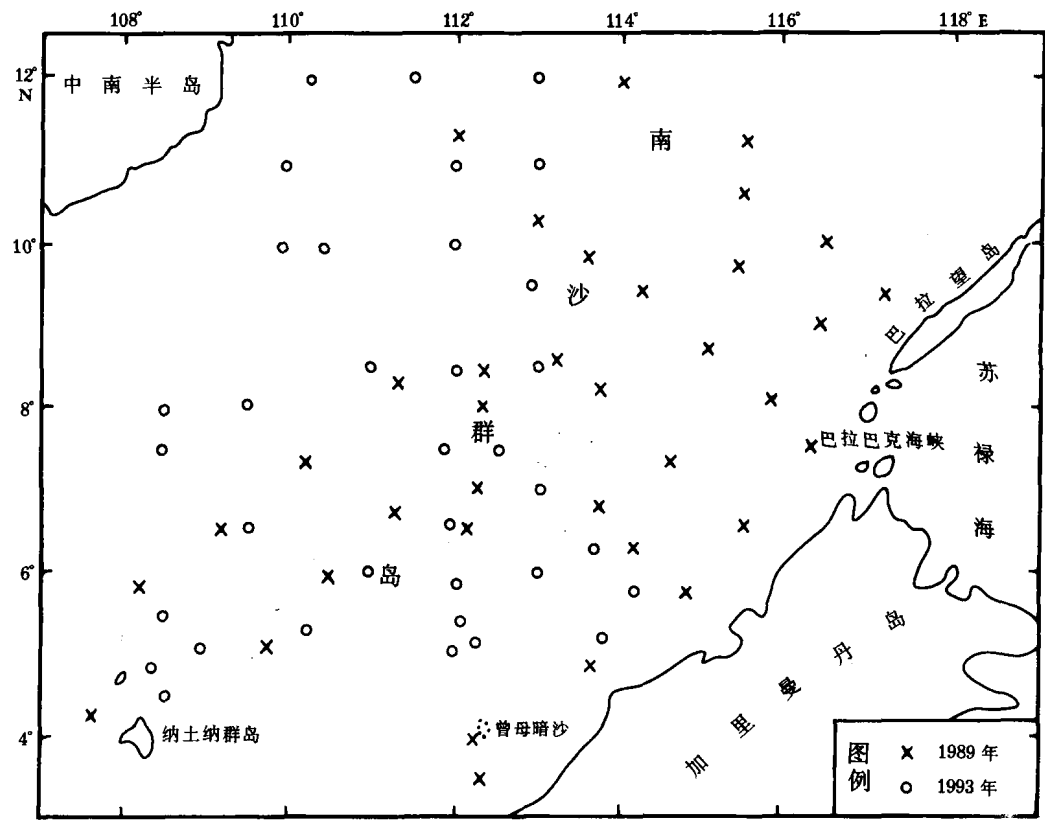


图 1 采样站位图

Fig. 1 Sampling locations

2 结果与讨论

2.1 叶绿素 a 分布

根据 1989 年和 1993 年二个航次调查的资料分析结果列表 1, 由表可见, 冬季南沙群岛海区叶绿素 a 的测值范围在 0—1.75mg/m³ 之间, 平均为 0.22mg/m³, 比春、夏季的略高, 变化幅度较春、夏季的大, 最大值层深度及水平分布趋势都与春、夏季的稍有差异。

2.1.1 垂直分布

图 2 为某些代表站和冬季整个海区不同层次平均叶绿素 a 含量的垂直分布曲线。由

表 1 叶绿素和初级生产力测定

Table 1 Chlorophyll contents and primary productivity

季 节	叶绿素 a (mg/m^3)			初级生产力 [$\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]	透明度 (m)
	平均值	测值范围	最大值层深度 (m)		
春	0.18	0—0.92	50—75	390	28
夏	0.20	0—0.60	75	422	35
冬	0.22	0—1.75	50	269	23

此可见,南沙群岛海区表层叶绿素 a 测值较低,高值出现在次表层,但深度比春、夏季的浅(20—30m),整个调查区约 60%的测站在 50m 层测值最高,平均为 $0.43\text{mg}/\text{m}^3$,相当于水柱平均测值的 2 倍,为表层测值的 3 倍左右。根据水文资料,南沙群岛海区普遍存在温、盐跃层(图 3),冬季叶绿素 a 最大值层主要处在主温跃层的中上部,其次是 30m 或 75m 层,分别约占总测站的 13%和 18%,平均测值都是 $0.28\text{mg}/\text{m}^3$ 。同时发现与热带西太平洋海区的垂直分布趋势相似^①,有的测站在 110m 层出现次峰值,如 59 号测站(图 2, 3),与 DO 的垂直分布特点具有相似之处,但 DO 最高测值在主温跃层的上界,即 20—30m 层,处于叶绿素 a 峰值之上,这可能与生物光合作用释氧上溢有关,但有些测站 DO 的最大值也出现在 50m 层(图 3)。此外,DO 的次峰值层深度与叶绿素相同,都是在 110m 层,反映出在较深层由于海水压力关系,生物光合作用释氧上溢受阻,因此,它们的分布水层重叠,与上高值层的情况有所不同。

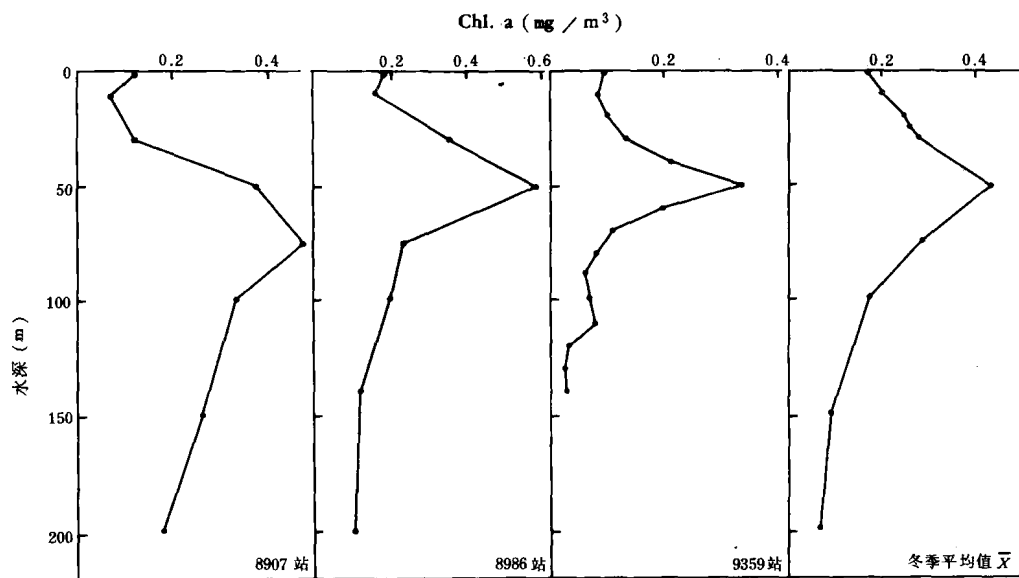


图 2 叶绿素 a 的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of chlorophyll-a

① 黄良民, 1994, 热带西太平洋海区叶绿素 a 的时空分布 (待刊)。

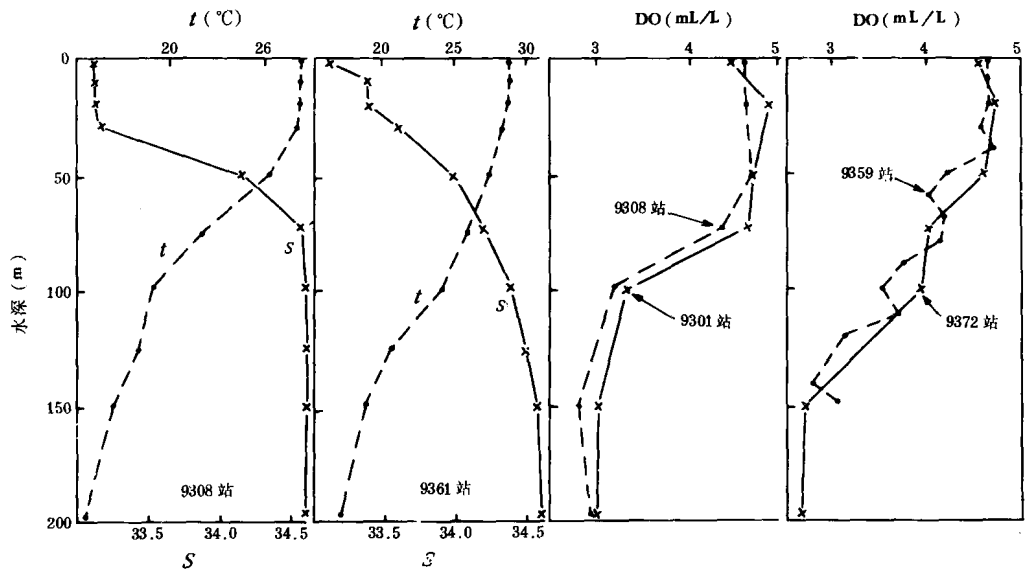


图 3 某些测站的温度、盐度和溶解氧的垂直变化

Fig. 3 Vertical change of temperature, salinity and DO in some stations

该海区叶绿素 a 含量的剖面分布由图 4a 可见, 112°E 剖面图表明叶绿素 a 的含量在该海区的南部 5°—6°30'N 附近 50m 层出现高值; 中部海区含量较低, 高值层不明显; 北部 (10°N 附近) 高值层分布在较深处 (75—100m), 测值比中部的高, 但比南部的低。由图 4b 看来, 7°30'N 断面以东、西两侧的叶绿素 a 含量较高, 高值中心位于 110°12'E 和 115°E 附近, 表层 (水深 < 30m) 和较深层 (水深 > 100m) 的叶绿素 a 含量普遍较低, 这些特点与该海区春、夏季调查的结果^[2,3]较一致。

由现场测定结果得知, 海水荧光强度的垂直变化与叶绿素 a 非常吻合, 经采用多项式拟合法分析, 获得该海区冬季叶绿素 a 和海水荧光值的垂直分布模式如下:

$$\log \text{chl. a} = -0.535 + 0.0138D - 2.04 \times 10^{-4}D^2 + 6.55 \times 10^{-7}D^3 \quad (1)$$

$$\log Fv = 0.77 + 0.0141D - 1.75 \times 10^{-4}D^2 + 5.27 \times 10^{-7}D^3 \quad (2)$$

式中 chl. a 为叶绿素 a 含量 (mg/m³), Fv 为海水荧光值; D 为海水深度 (m)。分析结果是冬季叶绿素 a 和海水荧光值的垂直变化趋势相一致, 都遵从多项式分布。这与过去报道春、夏季该海区的研究结果相似, 反映出南沙群岛海域叶绿素与海水荧光值的垂直分布呈不均匀性, 存在峰值层的原因除初级生产者本身对光能量和营养盐的生理需求有关外, 与水动力、温跃层强度和南沙群岛海区的上准均匀层厚度等理化因子的关系较密切, 其深入分析详见另文报道 (本文集)。

根据统计分析, 叶绿素与荧光值之间具有显著的相关性, 冬季该海区现场荧光法测算叶绿素 a 含量的公式为:

$$\text{chl. a} = -0.00849 + 0.103 Fv \quad (n=100, r=0.897) \quad (3)$$

以上模式对快速测定海水中叶绿素含量, 探索南沙群岛海区生物生产力结构和生态

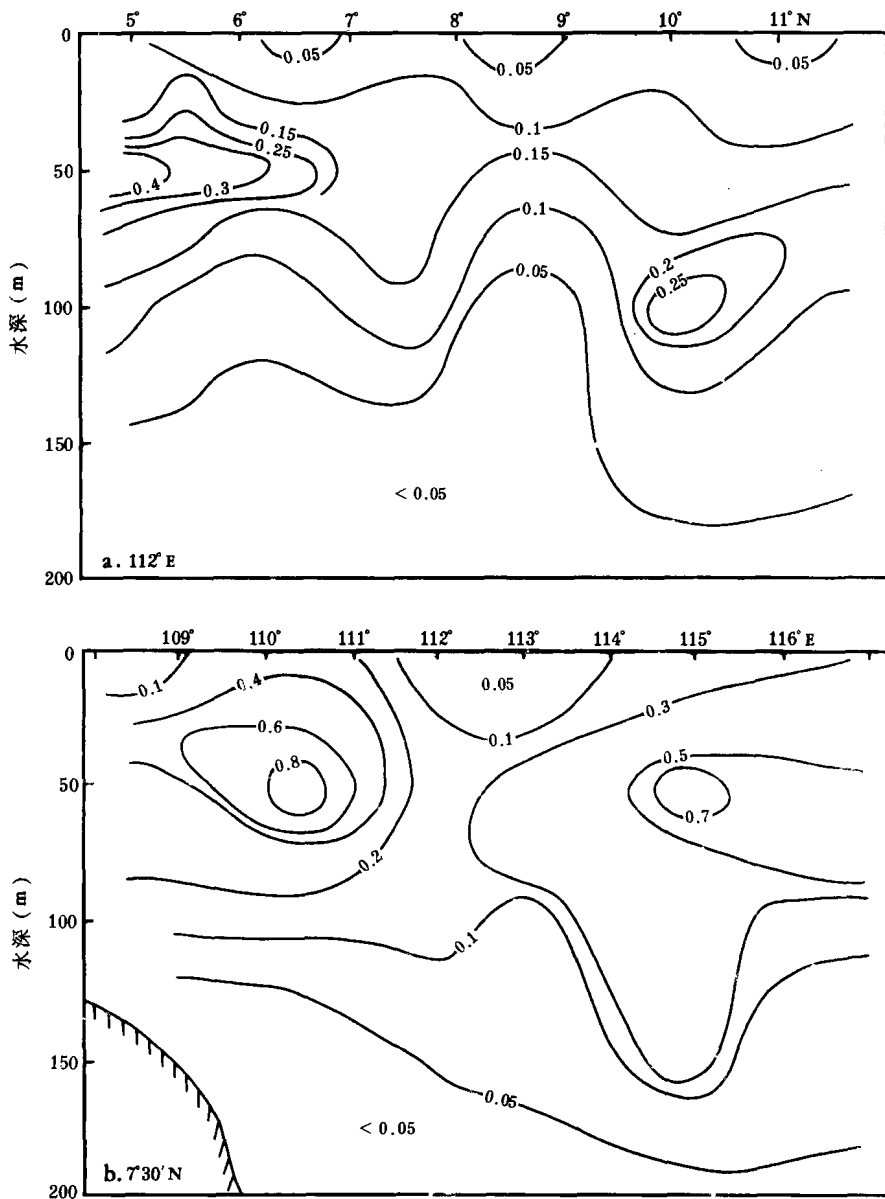


图 4 叶绿素 a (mg/m^3) 的断面分布

Fig. 4 Vertical sections of chlorophyll-a (mg/m^3)

系统，分析水团等具有实际意义和理论价值。

2.1.2 平面分布

该海区冬季叶绿素 a 的平面分布见图 5，不同层次，其分布趋势略有不同。表层 (0m) 叶绿素 a 含量以西北部海区较低 ($< 0.1 \text{mg}/\text{m}^3$)，这与该处陆源物质渗入较少，加上存在温跃层，富含营养盐的深层水不能向表层输送，造成表层营养物质被消耗而得不到补充，影响了浮游生物的生长有关。在马来西亚近岸海区由于陆源物质的渗入，营养

盐含量增大,为浮游植物的繁殖生长提供了有利条件,因而出现叶绿素 a 高值分布区(最高含量达 $1.75\text{mg}/\text{m}^3$),并由沿岸向外海区递降。另发现在调查区中部(岛礁区)有二个较高值中心,分别位于 8°N , 111°E 和 $9^\circ30'\text{N}$, 114°E 附近(图 5a),在纳土纳群岛西部海区也有较高测值,这可能与水交汇及珊瑚礁的营养物质渗入附近海区有关。

50m 层叶绿素 a 含量与表层的变化趋势稍有相似之处,在调查区的西北部含量较低,但最高值往南、西方向偏移,在曾母暗沙附近和巴拉望岛附近的分布是向离岸方向递减,在纳土纳群岛东北部浅水区形成一个大于 $1.2\text{mg}/\text{m}^3$ 的高值中心,在岛礁区中部也出现一个较高值中心(图 5b),这些分布特点除与营养盐有关外,与水文动力尤其海流的作用以及跃层强度具有更密切的关系。

100m 层叶绿素 a 的较高值中心位于岛礁区中部和纳土纳群岛东北部浅海区,但测值明显低于 50m 层和表层。从整个调查海区的分布来看,在西北部海区仍为叶绿素 a 低值区,与表层和 50m 层的分布趋势相似。

2.1.3 周日变化

据 1989 年 12 月在曾母暗沙北部海区($5^\circ08'\text{N}$, $112^\circ15'\text{E}$)作周日连续定点观测的结果表明,该海区叶绿素 a 含量的周日变化趋势呈两种情况,表层(20m 以浅)叶绿素 a 含量在上午 10:00 时出现较高值,其它时间的测值较低(图 6);而在水深大于 30m 的其它

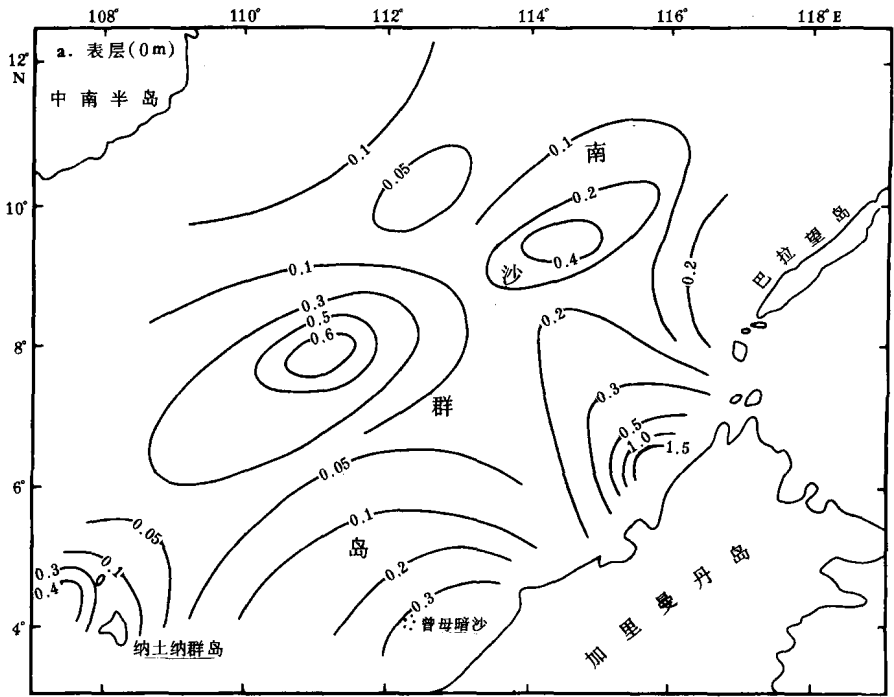


图 5 叶绿素 a (mg/m^3) 的平面分布

Fig. 5 Horizontal distribution of chlorophyll-a (mg/m^3)