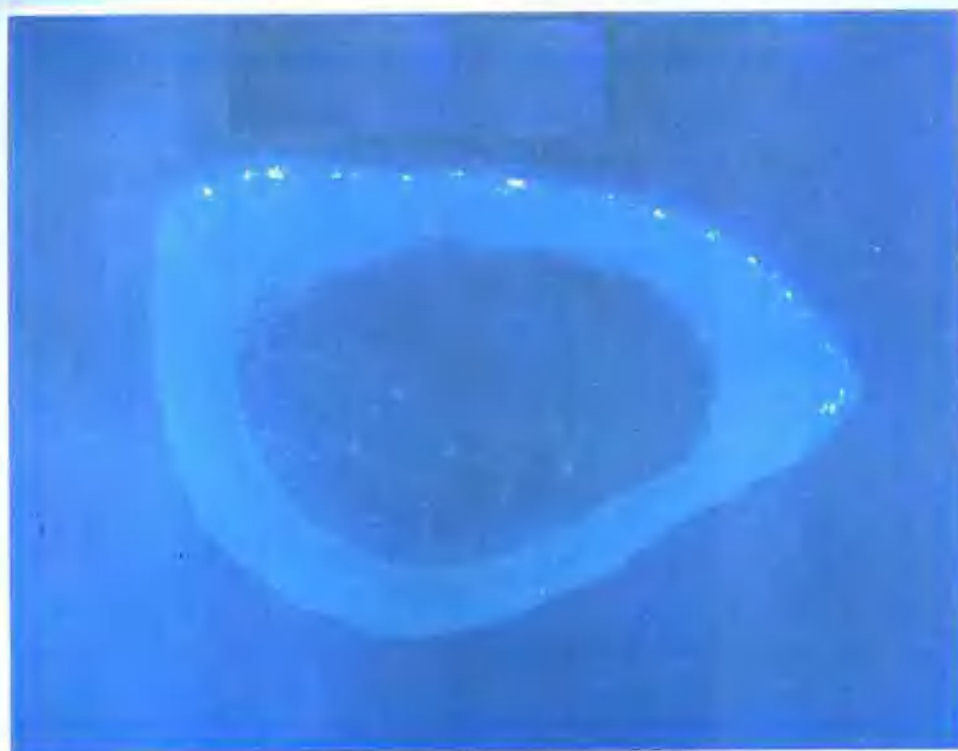


南沙群岛珊瑚礁潟湖 化学与生物学研究

STUDIES ON THE CHEMISTRY AND BIOLOGY IN CORAL
REEF LAGOONS OF THE NANSHA ISLANDS

中国科学院南沙综合科学考察队



海洋出版社

南沙群岛珊瑚礁潟湖 化学与生物学研究

STUDIES ON THE CHEMISTRY AND BIOLOGY IN CORAL
REEF LAGOONS OF THE NANSHA ISLANDS

中国科学院南沙综合科学考察队

海 洋 出 版 社

1997 年·北京

内 容 简 介

本书系“八五”期间,对南沙群岛珊瑚礁潟湖化学和生物学的现场调查,经分析研究而提供的研究成果。其内容新颖,阐明了珊瑚礁潟湖中诸化学元素、沉降颗粒化学分析,潟湖中小型浮游动物的营养作用,以及虫黄藻营养元素分析等,是化学—生物学交叉研究珊瑚礁潟湖环境生态的重要报道。本书可供大专院校师生和从事海洋、水产、环保研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

南沙群岛珊瑚礁潟湖化学与生物学研究/中国科学院南沙综合
科学考察队编—北京:海洋出版社,1997.5

ISBN 7-5027-4257-3

I. 南… II. 中… III. ①珊瑚礁—潟湖—海洋化学—中国—南沙群岛 ②珊瑚礁—潟湖—海洋生物学—研究—中国—南沙群岛
IV. P722.704

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 00332 号

责任编辑 赵士青

责任校对 刘兴昌

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

1997 年 6 月第 1 版 1997 年 6 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.5

字数:250 千字 印数:0—500 册

定价:19.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

南沙群岛位于南海诸岛中最南部,拥有分布最广和最多的珊瑚岛、礁、沙洲和暗滩。其中珊瑚礁大部分系环礁,环礁之中具有深度不等又很广阔的潟湖。在“八五”期间,国家对南沙群岛及其邻近海区综合科学考察继续给予极大的支持,我们在研究内容中特辟出一个专题,开展南沙群岛珊瑚礁潟湖的研究,其目标是了解潟湖的物质循环与生态系结构与功能的关系,及如何对珊瑚礁本身作出贡献,并探讨潟湖今后利用开发的潜力。通过该专题科技人员的努力,提供了潟湖中化学元素、沉降颗粒成分,小型浮游动物的营养以及虫黄藻营养研究成果,是今后了解潟湖动力作用、生态过程的良好开端,也为提高潟湖利用研究奠定较扎实的基础。本书研究体现了化学与生物学交叉渗透,具有开拓性,内容具有特色和新意,具有较高的学术价值。

本书是由中国科学院南海海洋研究所、中国科学院海洋研究所和中国水产科学研究院南海水产研究所的科技人员共同承担、互相配合而完成的。

愿借此机会,向参加“八五”南沙考察的科技人员和热心指导、支持这一事业发展的上级有关部门、领导、专家以及给予关怀帮助和付出辛勤劳动的人们表示敬意,并致以衷心的感谢!

“八五”国家重大科技专项
南沙群岛及其邻近海区综合科学考察
项目负责人 陈清潮

1995.9.18

目 次

南沙群岛渚碧礁潟湖的水动力过程·····	林洪瑛等(1)
南沙群岛渚碧礁潟湖生源要素的动力学模式·····	林洪瑛等(7)
南沙群岛渚碧礁潟湖碳循环的初步研究·····	林洪瑛等(11)
南沙群岛渚碧礁潟湖春季溶解氧的分布特征·····	王汉奎等(16)
南沙群岛渚碧礁潟湖 CO ₂ 体系的研究·····	王汉奎等(27)
南沙群岛珊瑚礁潟湖的有机碳研究·····	蔡艳雅等(33)
南沙群岛珊瑚礁潟湖营养盐的分布特征·····	王建林等(38)
南沙群岛珊瑚礁潟湖沉降颗粒的垂直通量·····	吴林兴等(43)
南沙群岛永暑礁和渚碧礁潟湖沉降颗粒的化学元素分析·····	蔡艳雅等(49)
南沙群岛珊瑚礁潟湖磷的垂直输送与再生释放·····	李鹏程等(55)
南沙群岛珊瑚礁潟湖生态系小型浮游动物的营养作用·····	章淑珍等(64)
南沙群岛珊瑚礁潟湖生态系中虫黄藻的营养作用·····	李纯厚等(71)
钟伏瓶法测氧试探海藻对南沙群岛珊瑚礁潟湖初级生产力的贡献·····	吴林兴等(78)
南沙群岛珊瑚礁生态系沉积物-海水界面间 N、P、Si 的扩散转移通量·····	宋金明等(84)
负二价硫在南沙群岛海区沉积物-海水界面附近的地球化学行为·····	宋金明等(93)
沉积物-海水界面附近 Fe、Mn 的地球化学特征与南沙群岛海区的沉积物环境·····	宋金明等(103)
南沙群岛珊瑚礁潟湖沉降颗粒有机碳、有机氮及 5 种形态磷的垂直通量研究·····	李鹏程等(112)
南沙群岛一些珊瑚礁潟湖水化学要素分布图·····	吴林兴等(121)

CONTENTS

Study on the Process of Water Power of the Zhubi Reef Lagoon in the Nansha Islands	Lin Hongying <i>at al.</i> (6)
A Dynamic Model of Biogenic Major Elements in the Zhubi Reef Lagoon of the Nansha Islands	Lin Hongying <i>at al.</i> (10)
Preliminary Study on the Carbon Cycle in the Zhubi Reef Lagoon of the Nansha Islands	Lin Hongying <i>at al.</i> (15)
The Spring Distribution Feature of Dissolved Oxygen in the Zhubi Reef Lagoon of the Nansha Islands	Wang Hankui <i>at al.</i> (26)
The Study on CO ₂ System in the Zhubi Reef Lagoon the Nansha Islands	Wang Hankui <i>at al.</i> (32)
Study on the Organic Carbon of the Sea Water in Coral Reef Lagoons of the Nansha Islands ..	Cai Yanya <i>at al.</i> (37)
The Nutrients' Distribution in Coral Reef Lagoons of the Nansha Islands	Wang Jianlin <i>at al.</i> (42)
The Vertical Flux of Sedimentary Particles in Coral Reef Lagoons of the Nansha Islands	Wu Linxing <i>at al.</i> (48)
Chemical Elementary Analyses of the Sediments of the Yongshu and Zhubi Reef Lagoons of the Nansha Islands	Cai Yanya <i>at al.</i> (54)
The Vertical Transportation Process and Release of Particulate Phosphorus in Coral Reef Lagoons of the Nansha Islands	Li Pengcheng <i>at al.</i> (63)
The Nutrition Role of Microzooplankton in the Lagoon Ecosystem from Coral Reefs of the Nansha Islands	Zhang Shuzhen <i>at al.</i> (70)
Studies on the Chemical Composition of Zooxanthellae from Coral Reef Lagoons in the Nansha Islands	Li Chunhou <i>at al.</i> (77)
Contribution of Algae to the Coral Reef Lagoon's Primary Productivity of the Nansha Islands by Determining Oxygen with Bell-Jar Process	Wu Linxing <i>at al.</i> (83)
Diffusion Fluxes of N, P, Si across Sediment -Water Interface in the Coral Reef Ecosystem of the Nansha Islands	Song Jinming <i>at al.</i> (92)
Geochemical Behaviours of - 2 Valence Sulfur near Sediment-Water Interface in Sea Waters of the Nansha Islands	Song Jinming <i>at al.</i> (101)
Geochemical Characteristics of Fe, Mn near Sediment - Water Interface and Sediment Environment in Sea Waters of the Nansha Islands	Song Jinming <i>at al.</i> (111)
The Vertical Fluxes of Sinking Particulate Organic Carbon, Nitrogen and Five Forms of Phosphorus in Coral Reef Lagoons of the Nansha Islands	Li Pengcheng <i>at al.</i> (119)

Diagrams of Sea Water Chemical Elements in Some Coral Reef Lagoons of the Nansha Islands	
.....	Wu Linxing <i>et al.</i> (159)

南沙群岛渚碧礁潟湖的水动力过程

林洪瑛 韩舜鹰 吴林兴 王汉奎

(中国科学院南海海洋研究所, 广州, 510301)

摘要 本文根据中国科学院南沙综合科学考察队于1993年5月对南沙群岛及其珊瑚礁的考察资料, 分析了渚碧礁潟湖的水动力特征及水动力过程, 计算礁外海水流入潟湖的平均流量为 $563.3 \text{ m}^3/\text{s}$, 并求算了渚碧礁潟湖水的停留时间为1.7d。

关键词 南沙群岛, 潟湖, 水动力, 停留时间

渚碧礁位于中业群礁西南, 道明群礁西北, 无口门, 为一封闭型环礁, 礁体近似梨形, NE-SW向, 环礁面积 16.1 km^2 。中间潟湖宽阔, 水深为 $10\text{m} \sim 22\text{m}$, 平均水深为 11.5 m ; 潟湖长轴约 3.25 km , 短轴约 2.17 km , 面积为 7.05 km^2 。1993年5月南沙群岛渚碧礁潟湖的调查站位见图1。

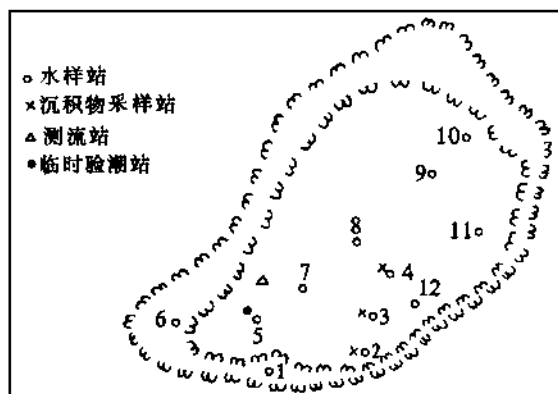


图1 南沙群岛渚碧礁潟湖的调查站位图
(1993年5月)

一、渚碧礁潟湖的水动力特征

根据1993年5月南沙群岛渚碧礁海域的潮汐、海流资料进行分析^[1], 渚碧礁海域的潮汐性质属于不规则的全日潮。其验潮资料表明, 观测期间的平均潮差为 1.14 m , 最大潮差达 1.49 m 。涨潮历时远大于落潮历时, 平均涨潮历时为 15.1 h , 平均落潮历时仅 9.7 h 。

1993年5月观测期间, 环礁附近的平均风速较小, 礁前为 3.7m/s , 风向稳定, 为SE向, 平均浪高为 0.5 m 。这是由于该航次处于东北季风基本结束、西南季风出现之前的过渡季节, 南沙群岛由稳定的副热带高压所控制^[2]。渚碧礁礁前海流流向主要受地形制约, 涨、落流方向与礁体走向大体一致。西南礁前涨流向为S-SW, 落流向为NNE-NNW; 潟湖内无明显涨、落流区别, 流速变化很小, 流速曲线无明显起伏, 实测海流向主要为E-S。1993年5月19日

至 20 日在潟湖内测得 5m 层海流的平均流速为 $16 \text{ cm/s}^{[1]}$ 。

二、渚碧礁潟湖的温度、盐度及溶解氧分布

海水的理化因素分布与水体的运动密切相关。1993 年 5 月渚碧礁潟湖表、底层, 礁外海区表、底层的温度、溶解氧、溶解氧饱和度的观测结果列于表 1。由表可见, 渚碧礁潟湖与外海相比, 具有较高的温度、盐度, 具有较低的含氧量及饱和度。礁外海区表、底层海水氧过饱和, 而潟湖内海水氧都为不饱和。渚碧礁潟湖的低氧含量情况, 说明礁内海水的各种耗氧过程比较强烈。

表 1 渚碧礁潟湖内、外的温度、盐度、溶解氧(1993 年 5 月)

观测项目	潟 湖		礁 外	
	表层	底层	表层	底层
温度($^{\circ}\text{C}$)	30.716	30.024	30.131	28.841
盐度	34.185	34.201	34.160	34.069
溶解氧(mL/L)	4.38	3.89	4.56	4.61
溶解氧饱和度(%)	99.45	89.01	104.4	103.5

图 2 和图 3 分别为渚碧礁潟湖表层水温和盐度的分布。由图看出, 潟湖东南区域存在一水温小于 30.4°C 的低温区, 此为底层的低温海水涌升的结果。表层温度由东南向西北逐渐升高, 与调查期间的风向一致。表层高盐区存在于潟湖的东南区域, 表层盐度由西北向东南逐渐升高, 与潟湖的海流方向一致。

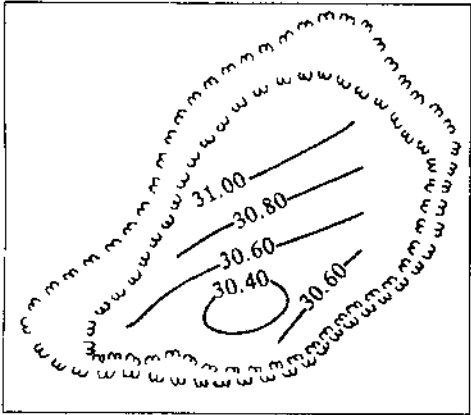


图 2 渚碧礁潟湖表层温度($^{\circ}\text{C}$)
的平面分布

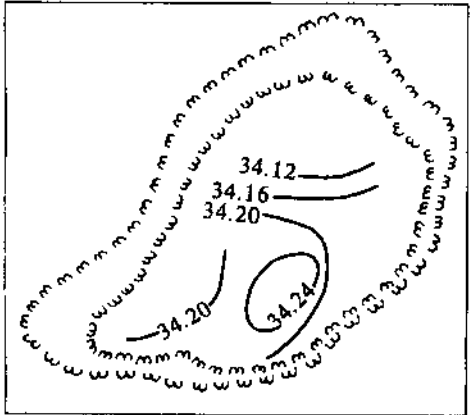


图 3 渚碧礁潟湖表层盐度的平面分布

图 4 和图 5 分别为渚碧礁潟湖底层水温和底层盐度的平面分布。由图可以看出, 低温区存在于潟湖中部的深水区, 西南向和东北向温度、盐度逐渐升高。这是由于该区水深较浅所致。

图 6 至图 9 分别为溶解氧和氧饱和度的表、底层分布, 其与水温、盐度的分布相似, 表层潟

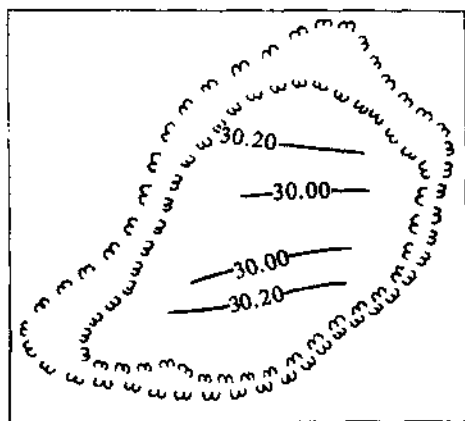


图4 渚碧礁潟湖底层温度(°C)的平面分布

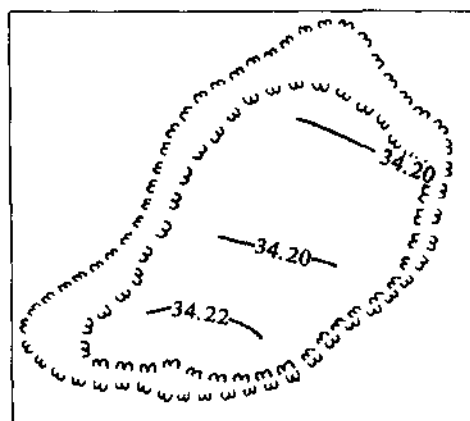


图5 渚碧礁潟湖底层盐度的平面分布

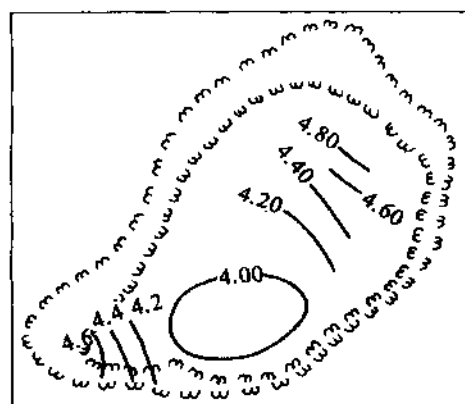


图6 渚碧礁潟湖表层溶解氧(mL/L)的平面分布

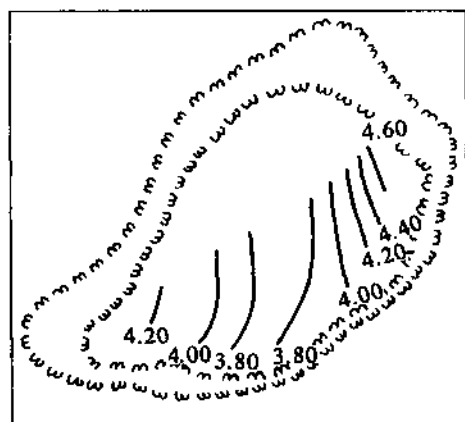


图7 渚碧礁潟湖底层溶解氧(mL/L)的平面分布

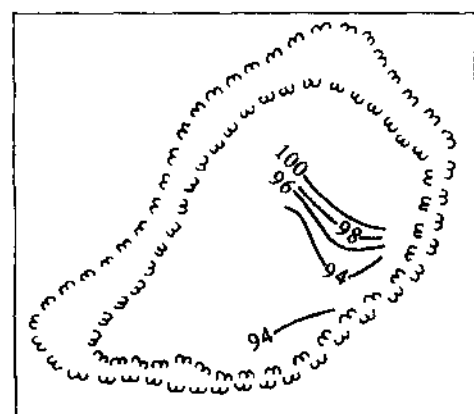


图8 渚碧礁潟湖表层氧饱和度(%)的平面分布

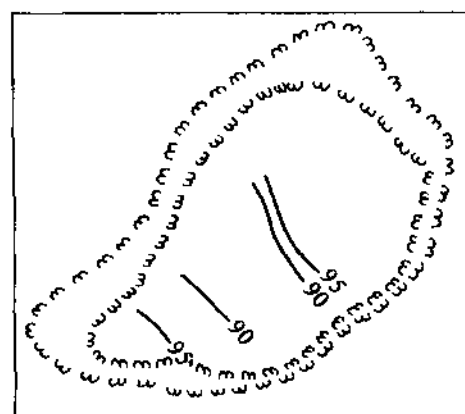


图9 渚碧礁潟湖底层氧饱和度(%)的平面分布

湖东南部存在一低氧($DO < 4.0 \text{ mL/L}$),低氧饱和度区($O_2 \% < 94 \%$)。这也进一步说明潟湖底层水涌升至表层,使其具有底层水的特征值。

三、渚碧礁潟湖的水交换

渚碧礁潟湖的理化要素分布表明,由于 SE 向风作用于潟湖海面,礁外海水沿风向流入潟湖,表层海水向 NW 方向运动。由于地形的阻隔,海水离岸运动后底层海水涌升,沿风向产生东南区域的、完全具有底层水特征的表层低温、低氧、高盐区。观测的 E-S 向海流也证实了底层水的涌升,测得的 5 m 层海流的平均流速为 16 cm/s 。潟湖底层的理化要素分布说明,约占潟湖三分之一的底层海水涌升,与流入潟湖的礁外海水混合,然后沿 NW 向流出潟湖表层。

根据潟湖的这一水运动状况,由质量平衡可得

$$S_d \cdot V_d + S_o \cdot V_o = S_{\text{mix}}(V_d + V_o) \tag{1}$$

$$V_d = V \cdot A \tag{2}$$

即

$$V_o = \frac{S_d - S_{\text{mix}}}{S_{\text{mix}} - S_o} \cdot V \cdot A$$

其中 S_d 为涌升的底层海水的平均盐度; S_o 为礁外海水的平均盐度; S_{mix} 为涌升的底层水与流入潟湖的礁外海水混合后的盐度值,这里即为潟湖表层海水的盐度值; V 为海流的流速; A 为涌升海水的截面积; V_d 为涌升的潟湖底层海水的流量,这里按潟湖 5 m 深至底层的海水以 16 cm/s 的平均流速沿潟湖长轴截面的三分之一计算; V_o 为礁外海水流入潟湖的平均流量。

根据 1993 年 5 月对渚碧礁潟湖及礁外海水的观测资料进行计算,计算结果列于表 2。

表 2 渚碧礁潟湖的水交换计算值

项目	S_d	S_o	S_{mix}	V (cm/s)	A (m^2)	V_d (m^3/s)	V_o (m^3/s)
计算值	34.206	34.143	34.185	16	7.04×10^3	1126.7	563.3

由此,潟湖内海水的停留时间为

$$\tau_w = V/V_o \tag{3}$$

V 为潟湖海水的体积。渚碧礁潟湖平均水深为 11.5 m,潟湖面积为 7.05 km^2 ,故海水体积为 $81.1 \times 10^6 \text{ m}^3$, τ_w 为 1.7 d。

比较南海、南沙群岛渚碧礁潟湖、大亚湾、珠江河口湾等不同海域的水的停留时间见表 3。

表 3 渚碧礁潟湖、南海、大亚湾、珠江河口湾的海水停留时间^[3~5]

区 域	调查时间	水域体积(m^3)	停留时间
渚碧礁潟湖	1993 年 5 月	0.81×10^8	1.7d
珠江河口湾			
伶仃洋	1987 年 3 月	101.59×10^8	4.89d
内伶仃	1987 年 3 月	48.14×10^8	7.13d

续 表

区 域	调查时间	水域体积(m ³)	停留时间
磨刀门	1987 年 3 月	3.4×10^8	1.77d
崖 门	1987 年 3 月	9.3×10^8	6.84d
大亚湾	1982 年 8 月	60.0×10^8	36.1 d
	1983 年 1 月		85.6 d
南湾	1986~1992 年	6.1×10^{15}	42 a

了解南沙群岛珊瑚礁潟湖的海水动力过程,可为进一步研究珊瑚礁潟湖的物质通量、营养动力学打下基础。渚碧礁潟湖的水动力过程,受到风、潮汐、海流、地形、温、盐等因素的影响。不同的天气,不同的海况,潟湖的水交换情况会有变化,但由于渚碧礁潟湖水的体积较小,潟湖内水深相对于南海及其他海湾来说是比较浅的,潟湖内海水具有较短的停留时间,换句话说,渚碧礁潟湖的水交换状况良好。

参 考 文 献

- [1] 于红兵等.永暑礁和渚碧礁潮汐、海流特征的初步分析.南沙群岛及其邻近海区地质地球物理及岛礁研究论文集(二),北京:科学出版社,1994,89~94
- [2] 傅子琅.南沙群岛环礁多样性的物理海洋环境特征.南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I,北京:海洋出版社,1994,1~11
- [3] 林洪瑛等.珠江口河口湾水交换初步探讨.科学通报,1990,35(5):366~369
- [4] 韩舞鹰,林洪瑛.广东省大亚湾海水交换的研究.海洋通报,1988,7(3):1~6
- [5] 韩舞鹰,林洪瑛.南海的水通量.海洋通报,1992,11(2):89~90

Study on the Process of Water Power of the Zhubi Reef Lagoon in the Nansha Islands

Lin Hongying, Han Wuying, Wu Linxing and Wang Hankui

(South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301)

Abstract Based on the results obtained from comprehensive investigation in the waters of coral reefs of the Nansha Islands in May 1993, by the comprehensive Oceanographic Expedition Team of Academy of sciences of China to the Nansha Islands, the features and the process of water power in Zhubi Reef Lagoon is discussed, and the average inflow quantity of the outer sea water entering the lagoon is estimated to be $563.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Meanwhile, the residence time of sea water in the Zhubi Reef Lagoon is also derived to be 1.7d, in this paper.

Key words lagoon, Nansha Islands, water power, residence time

南沙群岛渚碧礁潟湖生源要素的动力学模式

林洪瑛 韩舜鹰 吴林兴

(中国科学院南海海洋研究所, 广州, 510301)

摘要 本文根据潟湖的单箱质量平衡模型, 建立起渚碧礁潟湖生源要素的稳态动力学模式。由 1993 年 5 月对南沙群岛及其邻近海域的考察结果, 研究并计算了 O_2 , $PO_4^{3-} - P$, $SiO_3^{2-} - Si$, ΣCO_2 , POC 在渚碧礁潟湖的去除速率, 求算了生源要素在潟湖中的转移系数及通量系数, 为珊瑚礁潟湖的生物地球化学循环研究提供重要的依据。

关键词 南沙群岛, 珊瑚礁潟湖, 生源要素, 动力学模式

海洋中与生命物质密切相关的生源要素, 一直是海洋生物、海洋化学、海洋生物地球化学的重要研究内容之一。当前, 由于几个大型的国际化的海洋科学合作研究计划的相继实施 (IGBP, TOGA, JOGFS, GLOBEC, WOCE, LOICZ, GOEZO), 使海洋生物地球化学中的生源要素问题研究变得更加重要, 意义更加深远^[1]。

南沙群岛海域是我国仅有的具有众多珊瑚礁群的海域。在大小礁滩和潟湖中都分布着种类繁多的软体动物、棘皮动物、鱼类、珊瑚等海洋生物, 发育着热带海洋生物的群落, 构成珊瑚礁潟湖独特的生态环境。本文以全封闭型的渚碧礁潟湖为典型环礁潟湖, 根据渚碧礁潟湖的水环境状况、生源要素的含量和变化, 建立生源要素的稳态动力学模式, 从而计算生源要素在潟湖中的去除速率、转移系数、通量系数等。

一、渚碧礁潟湖生源要素的稳态动力学模式

海水在风、潮汐、海流等水动力因素作用下流入潟湖, 在潟湖中与潟湖内的水进行混合, 然后再流出潟湖。在混合过程中, 物质发生相转移, 根据质量平衡关系应有

$$\frac{V \cdot d[E]}{dt} = Q_{in}[E]_{in} - Q_{out}[E] - B \cdot V \quad (1)$$

式中, Q_{in} 为外海水流入潟湖时的流量; Q_{out} 为潟湖中的水流出潟湖时的流量; $[E]_{in}$ 为流入潟湖的外海水中化学组分的浓度; $[E]$ 为潟湖海水中的化学组分浓度; V 为潟湖的海水体积; B 为化学组分在潟湖中的去除速率。

则式(1)的物理意义为

潟湖中的化学组分的变化 = 组分输入速度 - 组分经由流出的去除速度
- 组分进入沉积物或经由其他反应的去除速度

若 $Q_{in} = Q_{out}$, $\tau_w = V/Q_{in}$, 则式(1)为

$$\frac{d[E]}{dt} = \frac{1}{\tau_w} ([E]_{in} - [E]) - B \quad (2)$$

式中, τ_w 为潟湖中海水的停留时间, 渚碧礁潟湖 1993 年 5 月调查期间计算水的停留时间为 1.7d^[2]。

假若化学组分的浓度不随时间变化, 即体系处于稳定状态, 此时 $[E] = [E]_{ss}$, 有

$$[E]_{ss} = [E]_{in} - B \tau_w \quad (3)$$

$$B = \frac{[E]_{in} - [E]_{ss}}{\tau_w} \quad (4)$$

由 1993 年 5 月对南沙岛礁的调查结果,我们分别计算了几种生源要素以不同的存在形式,在渚碧礁潟湖中的去除速率,计算结果列于表 1。

表 1 不同存在形式的生源要素在渚碧礁潟湖中的去除速率

生源要素	$[E]_{in}$	$[E]_{ss}$	B
DO (mL/L)	4.57	4.19	0.224 [mL/(L·d)]
$PO_4^{3-} - P$ ($\mu\text{mol/L}$)	0.58	0.37	0.124 [$\mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})$]
$SiO_4^{2-} - Si$ ($\mu\text{mol/L}$)	8.30	5.35	1.735 [$\mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})$]
ΣCO_2 (mmol/L)	1.957	2.029	-0.04235 [mmol/(L·d)]
POC ($\mu\text{g/L}$)	90.42	98.50	-4.75 [$\mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{d})$]

二、结果和讨论

(一) 去除速率

海水中各种生源要素进入潟湖,在潟湖中有不同的去除速率,反映了不同的生源要素在潟湖中所经历的物理、化学、生物过程是不相同的。计算的几种生源要素中,溶解的总二氧化碳(ΣCO_2)和颗粒有机碳(POC)的去除速率为负值,说明溶解的无机碳和颗粒有机碳在潟湖中浓度增加了。即由于浮游生物的呼吸作用,潟湖中有机物质的氧化分解,使溶解的无机碳浓度增加,渚碧礁潟湖溶解无机碳浓度增加的速率^[3]为 $42.35 \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})$,比南沙海域深层海水的 ΣCO_2 再生速率 $[0.181 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})]$ 要大 2.3×10^5 倍。对于潟湖中的颗粒有机碳,由于沉降作用、矿化作用及生物的吸收作用,会使颗粒有机碳的浓度减少,但浮游植物的同化作用又会增加海水中的颗粒有机碳浓度。去除速率的计算结果表明,渚碧礁潟湖海水颗粒有机碳的作用结果是浓度增加,净增加速率为 $4.75 \mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{d})$ 。

浮游植物的光合作用,使海水中的溶解氧浓度增加;生物的呼吸作用,有机物质的氧化、分解,又会消耗海水中的氧。渚碧礁潟湖氧的去除速率计算结果,表明渚碧礁潟湖海水增氧过程与耗氧过程共同作用的结果是消耗海水中的氧含量。其溶解氧的消耗速率比南海深层海水的氧消耗速率^[4]大 7.8×10^4 倍;比南海 50m 层的氧消耗率大 9.3×10^2 倍,比粤东沿岸上升流区,用热量平衡、氧量平衡推导计算的上升流海水氧的消耗率 $17.75 \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})$ ^[5]略大。强烈的耗氧过程,反映潟湖的浮游生物密集,鱼类等生物量丰富,生化过程强烈,与开阔的大洋相比,有较高的生产力。

浮游植物的同化作用同样会吸收海水中的溶解无机磷酸盐,使其变成颗粒态的有机磷;溶解物质的聚集作用、颗粒物质的吸附、沉淀作用等,溶解的无机磷酸盐又会转变成颗粒态的无机磷。渚碧礁潟湖中海水溶解的无机磷酸盐转化成颗粒态磷而沉降的速率为 $0.124 \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})$ 。

溶解的硅酸盐在潟湖中也发生相的转移。由于颗粒物质的吸附、沉降、海洋生物的吸收等过程,溶解态的硅在渚碧礁潟湖中被迁移、转化的速率为 $1.735 \mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{d})$ 。

由于海水化学组分的去除速率,反映了其在潟湖中经历了各种物理、化学、生物过程后的

变化速率,因此,它在海洋生物地球化学的生源物质循环、物质通量研究中,是一个很重要的参数。

(二) 潟湖中各生源要素的转移系数

外海水通过潮汐、潮流、风等的作用进入潟湖,在潟湖中各生源要素发生迁移。设外海水向潟湖的输入通量为 T_{in} ,生源要素在潟湖中的去除通量为 W_e ,去除通量与输入通量的比值为转移系数 R_{ss} ,即有

$$T_{in} = [E]_{in} \cdot Q_{in} \tag{5}$$

$$W_e = B \cdot V \tag{6}$$

$$R_{ss} = W_e / T_{in} = B \cdot \frac{V}{[E]_{in} \cdot Q_{in}} \tag{7}$$

计算结果列于表 2。

表 2 生源要素在清碧礁潟湖中的输入通量、去除速率及转移系数

生源要素	T_{in}	W_e	R_{ss}
DO	$19.87 \times 10^6 \text{ mol/d}$	$1.62 \times 10^6 \text{ mol/d}$	0.08
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	$28.23 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	$10.04 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	0.36
$\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$	$403.95 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	$140.71 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	0.35
ΣCO_2	$95.25 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	$-3.43 \times 10^6 \text{ mol/d}$	-0.036
POC	$366.72 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	$-32.10 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	0.088

(三) 潟湖向外海输出的生源要素通量及潟湖的通量系数

外海水不断给潟湖输入物质,而进入潟湖的物质在潟湖内部分发生转移,其余向外海输出。设潟湖向外海输出的物质的净通量为 T_{out} ,输出通量与外海水的输入通量的比值定义为潟湖的通量系数 R ,它表示潟湖对外海水输入量的控制程度,其表达式为

$$T_{out} = Q_{out} \cdot [E]_{ss} \tag{8}$$

$$R = \frac{Q_{out}[E]_{ss}}{Q_{in}[E]_{in}} = \frac{[E]_{ss}}{[E]_{in}} \tag{9}$$

计算结果列于表 3。

表 3 生源要素在清碧礁潟湖中的输出通量及通量系数

生源要素	T_{out}	R_{ss}
DO	$18.21 \times 10^6 \text{ mol/d}$	0.92
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	$18.01 \times 10^6 \text{ mol/d}$	0.64
$\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$	$260.38 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	0.64
ΣCO_2	$98.75 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	1.04
POC	$399.49 \times 10^6 \text{ mmol/d}$	1.09

综上所述,运动着的海水流过位置固定的珊瑚礁,珊瑚礁就如同一个捕集器,通过内部各种生物化学过程,把流过的海水中浓度很低的营养物质有效地利用,如本文中计算,流过的海

水中约 1/3 的营养盐被珊瑚礁所利用。当然,与此同时,珊瑚礁也如同一个反应器,通过各种生物化学过程,给流过的海水增加一些物质,如 ΣCO_2 和 POC 等。

珊瑚在茫茫大海中提供了一个固定的点,永不停息的海水源源流过其间,提供永不枯竭的能量和营养,而近乎完美的“共生”关系和物质再循环,使珊瑚礁成为所有生物群落当中最富有生物生产能力的、分类学上种类繁多的、美学上驰名于世的群落之一。

参 考 文 献

- [1] 刘敬圆. 海洋科学研究与全球变化. 海洋科学, 1994, (5), 23~24
- [2] 林洪瑛等. 南沙渚碧礁泻湖的水动力过程(本论文集)
- [3] 韩舞鹰, 王明彪, 林洪瑛. 南沙海域深层海水碳垂直通量. 海洋学报, 1995, 17(3): 117~121
- [4] Han Wuying and Lin Hongying, Phosphorus flux in the South China Sea. In: Proceedings of the Symposium on the Physical and Chemical Oceanography of the China Seas. China Ocean Press, Beijing, 1993, 348~353
- [5] 韩舞鹰, 马克美. 粤东沿岸上升流氧的各种变化过程. 热带海洋, 1991, 10(3): 65~70

A Dynamic Model of Biogenic Major Elements in the Zhubi Reef Lagoon of the Nansha Islands

Lin Hongying, Han Wuying, Wu Linxing

(South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301)

Abstract According to the single-box model of lagoon with matter balance, the dynamic model of the biogenic major elements in the waters of Zhubi Reef Lagoon is set up. Based on the investigation results conducted in waters of the Nansha Islands in May 1993, the elimination rate of biogenic major elements, such as DO , $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$, $\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$, ΣCO_2 , POC , in the Zhubi Reef Lagoon, are calculated. Meanwhile, the transformation rate and the flux coefficient of the biogenic major elements are also calculated. The calculation in this paper will provide an important basis for the study of the reef lagoon's biogeochemical cycle.

Key words coral reef lagoon, Nansha Islands, biogenic elements, dynamic model