

The Study of Biogenic Silica and Carbonate in the Sediment Cores from Nansha Sea Area

Xiaoqing Zhan, Panpan Hu, Guangshan Liu, Chao Li, Weidong Guo

College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen Fujian
Email: lgshan@xmu.edu.cn

Received: Aug. 27th, 2015; accepted: Sep. 17th, 2015; published: Sep. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The Nansha Sea area belongs to the tropical sea area which has extensive material source, and is an important setting for the research of paleoenvironment. In this study, six sediment cores of 21 - 29 cm long were collected from the Nansha Sea area, and biogenic silica and carbonate in the sediment cores were determined. The range of biogenic silica content (SiO₂%) is from 0.87% to 4.91% with the average of 2.08%. The carbonate content is in the range between 15.5% and 57.0% with the average of 33.2%. The biogenic silica and carbonate contents of sediment cores do not have an obvious same tendency with the depth changing. For all samples, biogenic silica, carbonate, organic carbon, and water content, show a positive correlation.

Keywords

Nansha Sea Area, Sediment Core, Biogenic Silica, Carbonate

南沙海域沉积物岩芯生物硅和碳酸盐研究

詹晓青, 胡盼盼, 刘广山, 李超, 郭卫东

厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门
Email: lgshan@xmu.edu.cn

收稿日期: 2015年8月27日; 录用日期: 2015年9月17日; 发布日期: 2015年9月25日

摘要

南沙属于热带海区,物质来源极为广泛,是古环境研究的重要地区。本研究在南沙海域采集了6个21 cm~29 cm长的沉积物岩芯,测定了生物硅(BSi, SiO₂%)和碳酸盐的含量。结果给出生物硅含量为0.87%~4.91%,平均为2.08%;碳酸盐含量为15.5%~57.0%,平均为33.2%。岩芯中的生物硅含量和碳酸盐含量随深度不存在明显一致的变化规律。对全部样品,生物硅、碳酸盐、有机碳及其与含水率之间存在正相关关系。

关键词

南沙海域,沉积物岩芯,生物硅,碳酸盐

1. 引言

海洋沉积物生源部分主要由硅质生物和钙质生物遗骸组成。

生物硅(Biogenic Silica, BSi)是无定形硅,也称生源蛋白石(Opal),主要由硅藻,放射虫,海绵骨针,硅鞭毛虫等的遗骸组成,是海洋沉积物的主要构成成分。硅质生物死亡后,介壳溶解速度慢,大部分直接沉入海底,最后转化为生物硅[1][2]。古海洋学研究中,沉积物中的生物硅常用来指示古生产力变化[3][4],与古海水营养盐状况的变化密切相关,且可以将其与古气候和古海洋学过程(如季风、洋流等)联系起来,成为环境变化研究一种有效手段[5][6]。另外,生物硅的埋藏与溶解在硅的生物地球化学循环过程中起着重要作用,所以,沉积物中生物硅的测量也有助于成岩作用和硅质量平衡计算的研究[7]-[9]。

碳酸盐是海洋沉积物重要组成成分,开阔海域沉积物的碳酸盐主要由海洋生物遗骸沉积形成,碳酸盐生物主要有底栖和浮游有孔虫、颗石藻、苔藓虫和软体动物贝壳。影响海洋沉积物碳酸盐含量的因素主要有钙质生物的生产率、陆源物质的稀释作用及碳酸盐的溶解作用。古海洋学界已普遍认为,碳酸钙溶解作用深刻影响着南海沉积物类型分布和钙质生物遗体沉积过程,稀释效应是陆坡沉积物碳酸盐含量变化的主要因素[10][11]。海洋沉积物中碳酸盐的分布特征同样可以为古海洋学研究提供重要依据,也可作为古气候替代指标[10]-[13]。

南沙海域处于欧亚、太平洋和印度板块的结合部位,是在中生代大陆边缘背景上扩张而形成的新生代边缘海,属于典型的热带海区,物质来源极为广泛,沉积物记录了陆地和海洋古气候、古环境变化的丰富信息,是研究现在和过去全球环境变化的理想场所[12]-[14]。南海的环境变迁对中国的季风气候具有举足轻重的影响,同时,南海又是追溯冰期与间冰期旋回和东亚季风演变的理想场所,因此,南海独特的地理位置和季风型海洋环流使其成为古环境研究的一个重要地区[15]。

几十年来人们对南海的物理海洋、海洋化学、海洋生物学等各学科各个方面进行了广泛研究,并对海洋沉积物的碳酸盐和生物硅进行了研究[10]-[15],但同时研究海洋沉积物中生物硅和碳酸盐的研究很少。本研究从南沙海域采集沉积物岩芯,分光光度法测定了其中的生物硅含量,盐酸消解差重法测定了碳酸盐含量,对生物硅和碳酸盐的生物地球化学进行了研究。

2. 方法

2.1. 研究样品

本研究于2014年5月在南沙海域南部陆架和陡坡区采集了六个岩芯,表1列出了每个岩芯的采样站位、水深、岩芯长度、分样个数和表现性状。其中NS-1和NS-2采集自陡坡区,水深分别为1335 m和

1537 m, 其余四个岩芯采自陆架区, 水深在 119 m~141 m 之间。六个岩芯长度在 21 cm~29 cm 之间, 按 5 cm 间隔分割岩芯, 共 30 个样品。

2.2. 样品测量

本文采用单点提取法测量沉积物中生物硅, 定义沉积物中的盐酸可溶解部分为碳酸盐, 或称为盐酸相。参照文献方法建立的实验流程如图 1 所示[16]-[18]。步骤为: 1) 将样品在 105℃ 烘干 2 h, 称取 50~60 mg

Table 1. The basic information of sediment cores

表 1. 沉积物岩芯基本信息

岩芯编号	NS-1	NS-2	NS-3	NS-4	NS-5	NS-6
采样站位	7°31'19"N, 113°28'7"E	6°27'30"N, 113°0'16"E	4°59'58"N, 113°9'45"E	5°14'41"N, 112°7'27"E	5°10'37"N, 110°20'14"E	4°50'15"N, 110°26'37"E
水深(m)	1335	1537	119	123	141	121
岩芯长度(cm)	24	21	29	25	26	25
层位(cm)	0~24	0~21	0~29	0~25	0~26	0~25
样品个数	5	4	6	5	5	5
表观性状	灰色软泥	灰棕色软泥	粉砂(含碎贝壳)	粉砂质泥	粉砂质泥	粉砂质泥

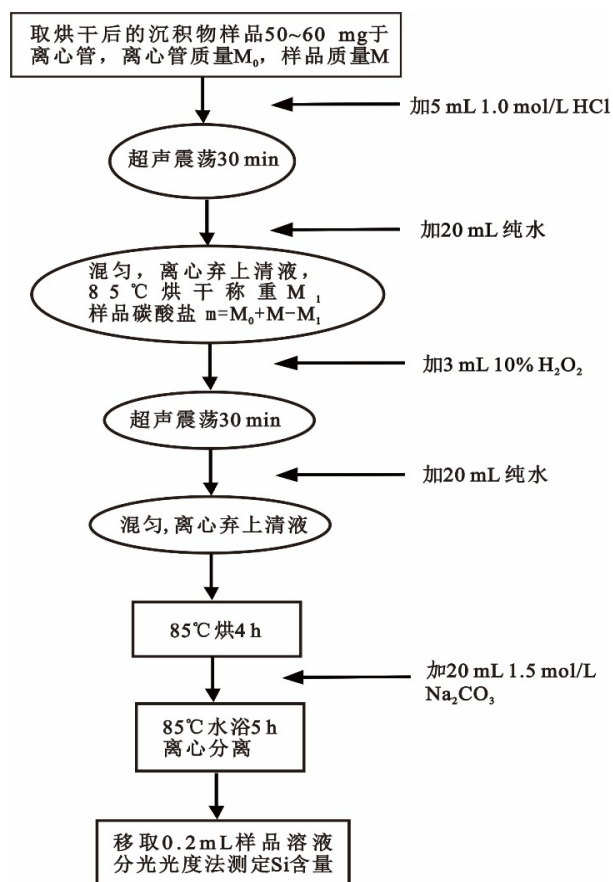


Figure 1. The procedure of the measurement of BSi and carbonate in sediment

图 1. 沉积物中生物硅和碳酸盐测量流程

置于 100 mL 的聚乙烯离心试管中, 记录样品质量; 2) 加 5 mL 1.0 mol/L HCl, 超声波震荡 30 min, 加 20 mL 纯水, 振荡混匀, 3500 r/min 离心 10 min 弃上清液, 85℃烘干 4 h, 取出称重, 减少的质量认为是碳酸盐的量[19] [20]; 3) 加 3 mL 10% H₂O₂, 超声波震荡 30 min, 加 20 mL 纯水, 振荡混匀, 3500 r/min 离心 10 min 弃上清液, 85℃烘 4 h; 4) 加入 20 mL 1.5 mol/L Na₂CO₃ 溶液, 振荡混匀后, 85℃水浴 5 h, 其中每隔 2 h 取出振荡; 5) 5 h 后取出振荡混匀, 3500 r/min 离心 10 min, 移取 0.2 mL 样品溶液, 酸性硅钼蓝分光光度法测定溶解硅含量, 并记录提取液总体积。最后结果以沉积物中 SiO₂ 和碳酸盐的百分含量表示。

2.3. 生物硅和碳酸盐含量误差计算

1) 样品中的生物硅含量(SiO₂%)

分光光度法测量生物硅时, 先往 25 mL 具塞比色管中加入 2 mL 酸性钼酸铵溶液, 加入 0.2 mL 待测量提取液, 放置 10 min, 加 8 mL 还原剂, 加纯水稀释至 25 mL, 混匀, 3 h 后, 用 1 cm 测定池, 以超纯水作参比进行测量。设标准工作曲线为 $y = ax + b$, 式中 y 是比色管中样品溶液中的 Si 浓度($\mu\text{g/mL}$), x 是吸光度, 样品中的生物硅浓度(SiO₂%)为:

$$M_{\text{BSi}} (\%) = y \times \frac{25}{0.2} \times \frac{V_1}{1000 \times M} \times 2.139 \times 100 = y \times \frac{V_1}{M} \times 26.74 \quad (1)$$

式(1)中, M_{BSi} 为样品中生物硅(SiO₂)含量(%); V_1 为提取液总体积(mL); M 为取样质量(mg); 0.2 是分光测定所用提取液体积(mL); 25 是比色管容量(mL); 2.139 是 SiO₂ 和 Si 分子量的比值。误差计算公式为:

$$\sigma_{ax}^2 = \left[\left(\frac{\sigma_a}{a} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_x}{x} \right)^2 \right] (ax)^2 \quad (2)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{ax}^2 + \sigma_b^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{M_{\text{BSi}}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{V_1}}{V_1} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{V_2}}{V_2} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{V_3}}{V_3} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_M}{M} \right)^2} \times M_{\text{BSi}} \quad (4)$$

式(2)~(3)中, σ_a 和 σ_b 是标准工作曲线系数误差, 由标准工作曲线拟合时得到; V_2 是式(1)中的比色管容量, V_3 是式(1)中的分光测定所用提取液体积; 取仪表最后一位读数 5 作为读数误差, $\sigma_x = 0.005$, $\sigma_{V_1} = 0.3 \text{ mL}$, $\sigma_{V_2} = 0.3 \text{ mL}$, $\sigma_{V_3} = 0.005 \text{ mL}$, $\sigma_M = 0.5 \text{ mg}$ 。

2) 样品中碳酸盐含量(%)

测量样品中碳酸盐的质量 m 为:

$$m = M_0 + M - M_1 \quad (5)$$

$$M_{\text{碳酸盐}} (\%) = \frac{m}{M} \times 100 \quad (6)$$

式(5)~(6)中, $M_{\text{碳酸盐}}$ 为样品中的碳酸盐含量(%), m 为碳酸盐的质量(mg), M_0 为烘干后的离心管质量(mg), M 为样品质量(mg), M_1 为盐酸反应离心烘干后的样品和离心管质量之和(mg)。

误差传递计算公式为:

$$\sigma_m^2 = \sigma_{M_0}^2 + \sigma_M^2 + \sigma_{M_1}^2 \quad (7)$$

$$\sigma_{M_{\text{碳酸盐}}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_M}{M} \right)^2} \times M_{\text{碳酸盐}} \quad (8)$$

取仪表最后一位读数 5 作为读数误差, $\sigma_{M_0} = \sigma_M = \sigma_{M_1} = 0.5 \text{ mg}$ 。

2.4. 生物硅测量条件选择

1) 提取液碳酸钠浓度的选择

用 0.5、0.7、1.0、1.5 和 2.0 mol/L 的 Na_2CO_3 溶液对三个样品提取测定生物硅，结果如图 2(a)所示。由图中可以看出当 Na_2CO_3 溶液浓度为 0.5 到 1.5 mol/L 时，结果给出样品中的硅含量不断增加， Na_2CO_3 溶液浓度为 1.5 mol/L 时，达到最大值。之后 Na_2CO_3 溶液浓度从 1.5 mol/L 到 2.0 mol/L 时，生物硅含量有所下降，所以碳酸钠浓度为 1.5 mol/L 较适合该沉积物中生物硅的提取。

2) 水浴时间的选择

用三个样品进行了 8 h 连续提取实验，得到样品中的硅含量随水浴时间变化关系如图 2(b)所示。由图中可知水浴 1~4 h 时，溶出的生物硅含量不断增加，4~8 h 变化较为平稳。按文献方法，取 8 h 连续提 4~8 h 数据，拟合直线，直线外推延长到 Y 轴的截距作为生物硅含量，第 5 h 单点提取测量结果在 1% 的误差范围内。

3) 提取液放置时间对测量结果的影响

取四个样品，水浴结束后除按测量程序进行测量后，剩下的样品在放置不同时间后又进行了测量，得到的结果如图 2(c)所示，发现随着放置时间增长，得到的样品中生物硅的浓度逐渐降低，可能是由于硅形态发生改变或者发生吸附所造成的[21]。对生物硅测量，提取后最好当天完成测量。

4) 其他条件的选择

沉积物中生物硅在 85℃~100℃ 范围都能够完全溶解，若选择更高温度(100℃)，则会在加速生物硅溶解的同时增大非生源硅的污染[17]，根据文献推荐本研究水浴温度选择为 85℃。

在一定 pH 条件下，固液比 R 对生物硅溶出有影响，R 越小所需样品量就越少，称量误差会大；R 越大，样品量大，所消耗 CO_3^{2-} 的量多，造成提取液 pH 和 Na_2CO_3 的缓冲容量下降，直接影响生物硅的提取能力，同时也会影响样品与提取液的接触而造成提取不完全。叶曦文(2002)发现 $R = 1.25\sim 5.00$ g/L 范围比较稳定[18]，本实验选用 R 为 2.5~3.0 g/L。

2.5. 含水量与烧失量测量

称取 20 g 左右样品，在 105℃ 烘干至恒重测量含水量。称取 2 g 左右烘干的样品，在 450℃ 灼烧至恒重测量烧失量。按烧失量的 45% 为有机碳含量来计算样品中的有机碳含量[22]。

3. 结果与讨论

3.1. 南沙海域生物硅与碳酸盐的含量水平

六个岩芯的生物硅、碳酸盐、有机碳和含水量平均值和范围值如表 2 所示。全部样品的生物硅、碳酸盐、有机碳和含水量分别在 0.87%~4.91%、15.5%~57.0%、0.50%~3.60% 和 27%~68% 的范围内，总体平均值分别为 2.08%、33.2%、1.98% 和 45%。

数据显示岩芯 NS-1 的生物硅、碳酸盐、有机碳含量及含水率都比其他岩芯高，生物硅平均含量为 4.69%，碳酸盐平均含量 51.2%，有机碳平均含量为 3.08%，含水率平均值为 63%。其次是岩芯 NS-2，生物硅平均为 3.22%，碳酸盐平均为 35.4%，有机碳平均为 2.61%，含水率平均为 62%。其他四个岩芯生物硅含量较低，都在 1%~2% 范围波动。

根据吴时国[23]等(1994)对南沙群岛及其邻近海区沉积类型的划分资料，岩芯 NS-1 和 NS-2 属于半深海-深海钙质生物碎屑-陆源碎屑沉积，NS-3 和 NS-4 属于大陆坡现代陆源碎屑沉积，NS-5 和 NS-6 属于大陆架残留沉积。沉积环境是影响生物硅的沉积和保存的重要因素，岩芯 NS-1 和 NS-2 属于灰色软泥，沉积物粒度细小，粘土含量高，利于生物遗体保存和积累。其余四个岩芯属于粉砂质泥，砂含量高，粒

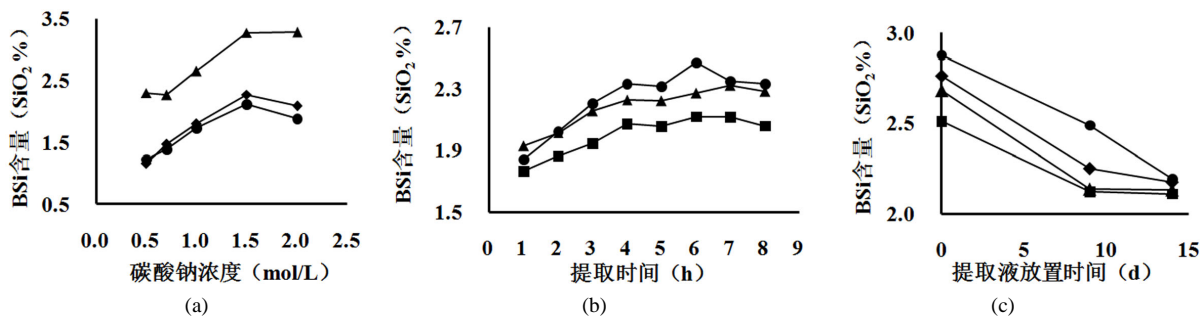


Figure 2. The contents of BSi in sediment samples with different experimental conditions

图 2. 不同实验条件下的样品生物硅含量测量结果

Table 2. The averages and ranges of BSi, carbonate, organic carbon and water content of six sediment cores

表 2. 六个沉积物岩芯生物硅、碳酸盐、有机碳和含水率平均值与范围值

样品编号	生物硅含量(SiO ₂ %)		碳酸盐含量(%)		有机碳含量(%)		含水率(%)	
	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值
NS-1	4.69 ± 0.13	4.50~4.91	51.2 ± 2.0	43.3~57.0	3.08	1.59~3.60	63	60~68
NS-2	3.22 ± 0.09	2.70~3.49	35.4 ± 1.9	22.9~52.7	2.61	1.46~3.36	62	61~63
NS-3	1.12 ± 0.07	0.87~1.23	23.6 ± 1.7	15.5~28.6	0.79	0.50~0.88	28	27~30
NS-4	1.79 ± 0.09	1.69~1.89	42.1 ± 1.8	37.9~45.7	2.28	2.09~2.45	48	46~50
NS-5	1.14 ± 0.07	1.08~1.25	32.5 ± 1.8	30.0~36.9	1.75	1.65~1.87	39	37~42
NS-6	1.24 ± 0.07	1.15~1.31	20.3 ± 1.6	15.6~26.8	1.78	1.74~1.84	39	37~41

度大，不利于沉积物中生物遗体的埋藏和保存，反而加速其分解[24]。

岩芯 NS-1 和 NS-2 所处的水深都在一千多米处，其他四个岩芯水深均在一百多米处，从六个岩芯结果比较可知，深海沉积区生物硅和碳酸盐含量较高，这可能是由于水深大于一千米的深海区受到陆源物质稀释作用较弱，它们主要与水体中硅质生物和钙质生物的生产力、营养盐和海流等因素有关。水深较浅的表层沉积物受陆源物质稀释作用较强，陆源碎屑带入大量的泥沙和少量的有机物，这些物质与生物硅和碳酸盐共同沉积，降低了生物硅和碳酸盐的百分含量[25]。此外，浅水区水体扰动大，易造成表层沉积物再悬浮，生物硅在水中滞留时间长，加速了其溶解[26]。

对比六个岩芯生物硅含量，发现除岩芯 NS-3，生物硅大小顺序为：NS-1 > NS-2 > NS-4 > NS-6 > NS-5，参考陆钧[27]等(2006)对南海南部沉积硅藻的研究结果，如图 3，发现本研究的生物硅含量与其硅藻的丰度有较好的一致性，说明硅藻是该海区生物硅的主要来源。岩芯 NS-3 靠近加里曼丹岛，受陆源稀释影响较大，并且发现样品中含有较多碎贝壳，说明该海域沉积物主要以钙质生源物种为主，硅质生物较少，底栖生物摄食和扰动作用也可能加速生物硅的溶解[28] [29]，导致该样品生物硅和有机碳含量较低。另外，根据毛文庆[30]等(2006)对南沙海域温盐分布特征研究发现，NS-3 站位海水温度比其他站位高，海水盐度比其他站位低，水深(119 m)也最浅，由于水浅，温度高，盐度低，硅质生物的溶解作用强[31]，不利于生物遗体保存，因此 NS-3 生物硅和有机碳含量都较低。

表 3 和表 4 列出南海部分海域沉积物生物硅和碳酸盐的文献研究结果，本研究给出生物硅的结果处于文献结果中间水平。可以发现南海南部海域沉积物生物硅含量高于北部。

3.2. 岩芯中生物硅与碳酸盐的垂直分布

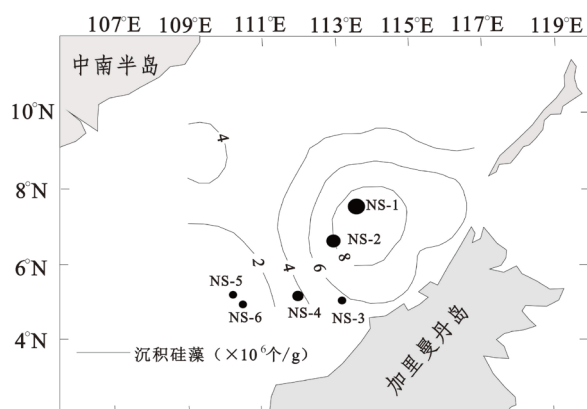
六个沉积物短岩芯生物硅和碳酸盐随采样深度变化如图 4、图 5 所示。

Table 3. BSi content levels in sediment of the South China Sea reported by literatures**表 3.** 南海部分海区沉积物生物硅含量水平

研究区域	BSi 含量(SiO ₂ %)		参考文献
	平均值	范围值	
北部湾(南海西北部)	1.10	0.58~1.68	刘芳, 2008 [26]
南海东北部, 表层沉积物	1.76	1.08~3.01	周鹏等, 2010 [32]
南海南部海域, 表层沉积物	4.22	0.79~9.06	周鹏等, 2010 [32]
南海南部, 岩芯		1.31~3.38	贾国东等, 2000 [33]
南海西南部岩芯(未扣除碎屑组分)	2.68	1.04~6.51	马金龙等, 2005 [34]
南海南部	2.61		王汝建等, 2007 [35]
南海南部深水区		3.39~9.00	张兰兰等, 2007 [36]
南海南部陆架浅水区		0.37~1.86	张兰兰等, 2007 [36]
南沙海域	2.08	0.87~4.91	本研究

Table 4. Carbonate content levels in sediment of the South China Sea reported by literatures**表 4.** 南海部分海区沉积物碳酸盐含量水平

研究区域	碳酸盐含量(%)		参考文献
	平均值	范围值	
南海陆坡区	33.77	13.11~91.77	李粹中, 1989 [10]
南海深海平原	5.63	1.72~8.47	李粹中, 1989 [10]
南海东北部		0.18~61.60	陈荣华等, 2003 [37]
南海北部(水深 < 2200 m)	>25		郭建卿等, 2006 [13]
南海北部与西部(从图估算)		2~35	李学杰等, 1997 [38]
南海北部	25.6	1.3~87.8	张江勇等, 2011 [39]
南海西部		0.64~77.06	李学杰等, 2004 [40]
南海南部(碳酸钙)		2.5~95.5	苏广庆等, 1993 [41]
南沙海域(碳酸钙)		3.0~72.0	汪品先等, 1997 [42]
南沙海域	33.2	15.5~57.0	本研究

**Figure 3.** Distributions of diatom abundance in surface sediment (drawn from Figure 3 in literature [27])**图 3.** 沉积硅藻丰度水平分布(由文献[27]图 3 改绘)

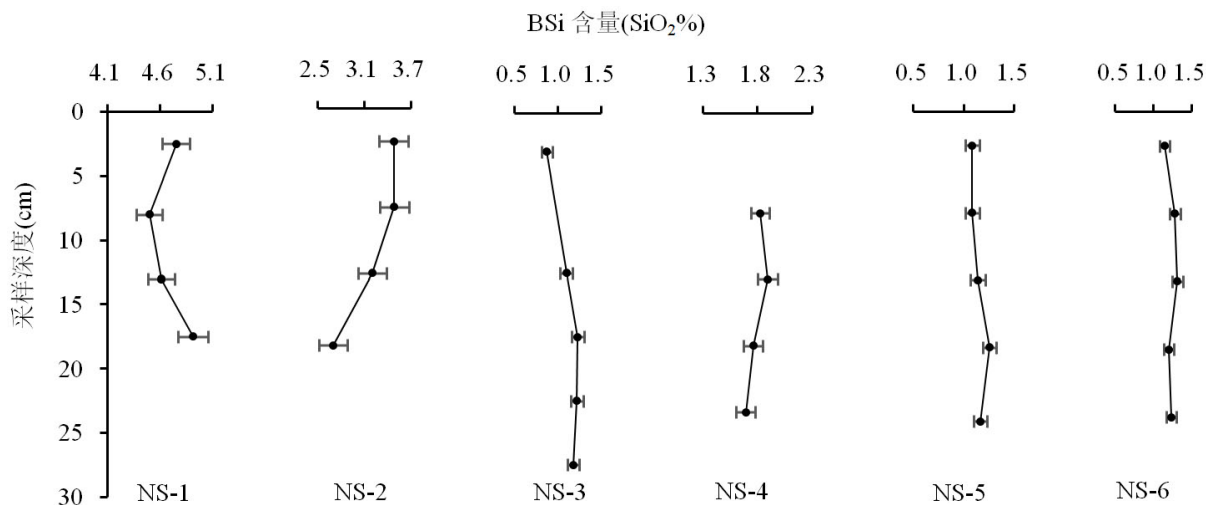


Figure 4. BSi distributions of six sediment cores

图 4. 六个岩芯生物硅分布

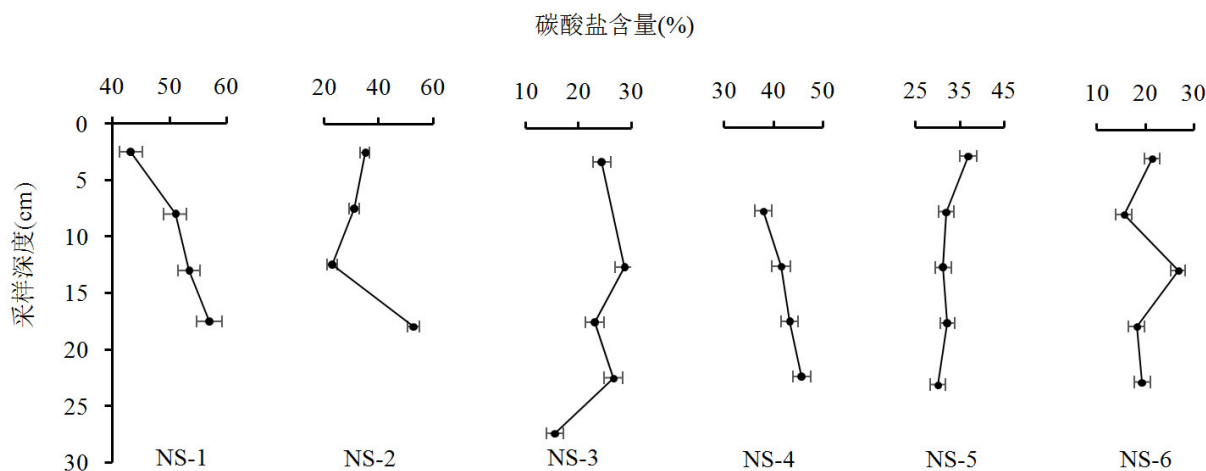


Figure 5. Carbonate distributions of six sediment cores

图 5. 六个岩芯碳酸盐分布

全部岩芯中，NS-1、NS-2 和 NS-3 三个岩芯中的生物硅含量随深度变化比较明显，而且每个岩芯的变化模式不太相同。

陆坡区的 NS-1 岩芯生物硅含量从表层起先降低，至 5~10 cm 深度(样品厚度 5 cm)达到极小值，之后又升高；NS-2 岩芯中，上部变化不明显，5~10 cm 之后随深度增加呈逐渐降低趋势。

陆架区，NS-3 岩芯中的生物硅含量随深度变化存在较明显的变化，从表层起到 15~20 cm 深度生物硅随深度增加逐渐增加，15~20 cm 之下变化不明显。其余三个岩芯生物硅随深度变化不大且含量较低，可能由于受陆源物质稀释影响造成。

六个岩芯中的碳酸盐随深度变化都比较明显。

陆坡上的两个岩芯，在 15~20 cm 深度以上，碳酸盐含量随深度呈相反的变化趋势，随深度增加 NS-1 碳酸盐含量逐渐升高，NS-2 逐渐降低。

陆架上的岩芯，NS-4 中的碳酸盐含量随深度增加呈增加趋势，其余三个岩芯的随深度增加呈降低趋势。NS-3 和 NS-6 的起伏也比较明显。

决定海洋沉积物碳酸盐含量的因素主要有三个：钙质生物生产率、陆源物质稀释作用及碳酸盐溶解作用[39]。深海沉积物中碳酸盐主要来自钙质生物的骨骼，NS-1 和 NS-2 受陆源物质影响较小，本区碳酸盐的沉积量一定程度上反映了钙质生物的生产率。由分布图推测，陆坡区，NS-1 海域有孔虫等钙质生物生产率高于 NS-2 所处海域。陆架区四个岩芯，陆源物质输入较大，对沉积物中的碳酸盐不仅有稀释作用，还有促进其溶解的作用，因此该区碳酸盐含量不能完全反映钙质生物的生长情况。此外，汪品先(1997)认为，南沙海域沉积物碳酸钙主要受陆源物质控制，因此呈现碳酸钙含量由北向南递减趋势[42]。

3.3. 生物硅、碳酸盐及其与有机碳、含水率相关性分析

对六个短岩芯生物硅、碳酸盐、有机碳及其含水率之间的相关性进行了分析。每个岩芯的分析结果表明，陆坡区的，NS-1 岩芯碳酸盐和有机碳、含水量之间负相关，生物硅和有机碳之间负相关；NS-2 岩芯，生物硅和碳酸盐、有机碳、含水量之间负相关。陆架区 NS-4 岩芯，碳酸盐和生物硅、含水量之间负相关；NS-5 岩芯，碳酸盐和含水量之间正相关。其余岩芯各量之间相关性较差，这可能是由于我们所采集的岩芯较短，样品少，相关性不明显。

将六个岩芯的全部数据进行相关性分析，如图 6 所示，碳酸盐、生物硅、有机碳、含水量之间均为

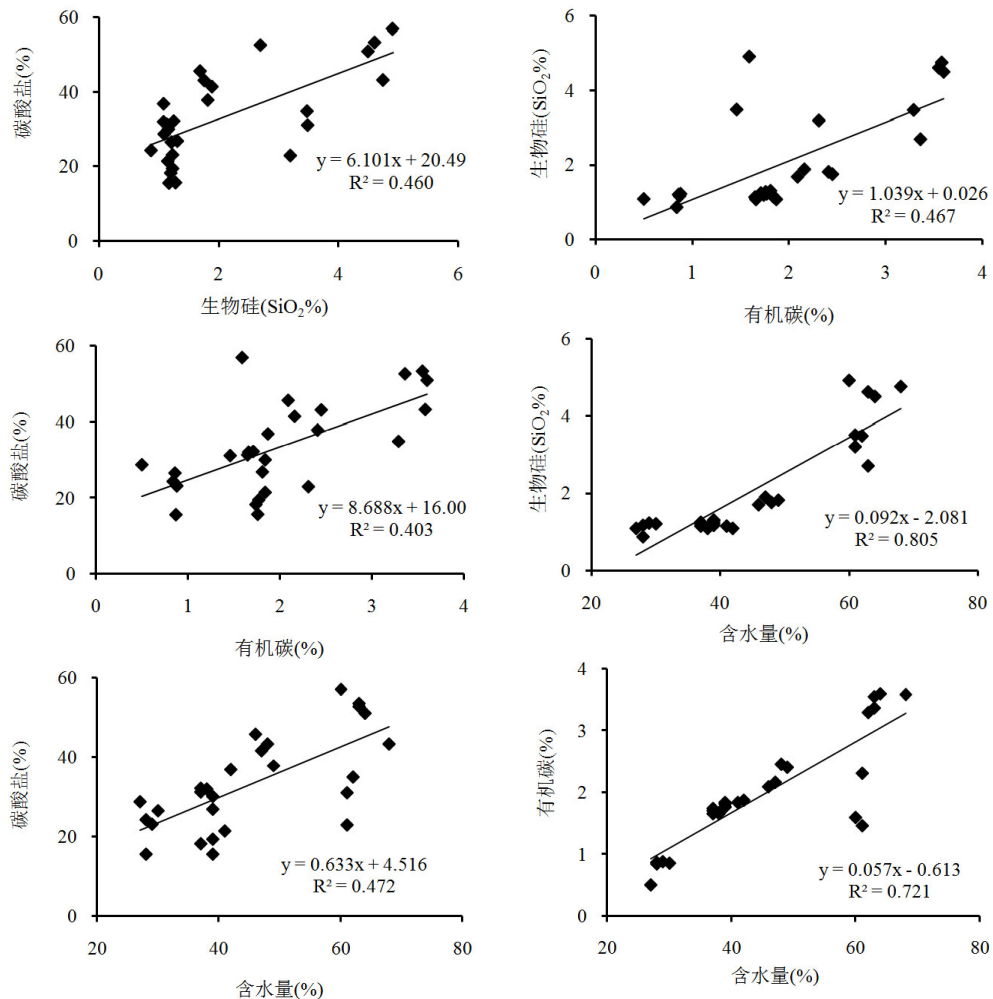


Figure 6. Relationship between BSi, carbonate, organic carbon and water content

图 6. 生物硅、碳酸盐、有机碳及其含水量之间相关性

正相关。碳酸盐和生物硅呈正相关,说明某个海域营养盐丰富,会导致该海区各种浮游生物生长旺盛,因此钙质生物繁盛的地区,硅质生物一般也较为繁盛。沉积物生物硅或碳酸盐与总有机碳含量的关系一定程度上反映了该海区有机质中硅质成分或钙质成分所占的比重,本研究沉积物中生物硅与有机碳,碳酸盐与有机碳都呈正相关,说明硅藻和有孔虫是该海域有机质的重要来源。

4. 结语

本研究测量了南沙海域南部陆坡和陆架区海洋沉积物岩芯中的生物硅和碳酸盐,结果给出南沙海域生物硅含量范围为 0.87%~4.91%,平均含量 2.08%;碳酸盐含量范围为 15.5%~57.0%,平均含量 33.2%。陆坡区和陆架区沉积物中的生物硅含量有明显的差异,陆坡区沉积物中的生物硅含量高于陆架区。

六个岩芯中的生物硅和碳酸盐含量随深度变化并不存在明显的规律性。单个岩芯作相关性分析,陆坡区岩芯生物硅、碳酸盐、有机物及其和含水量之间有些存在负相关,陆架区的岩芯则基本不存在相关性。对全部样品作相关性分析发现,生物硅、碳酸盐、有机物及其和含水量之间存在正相关关系。

参考文献 (References)

- [1] Nelson, D.M., Treguer, P., Brzezinski, M.A., et al. (1995) Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global biogeochemistry Cycle*, **9**, 359-372. <http://dx.doi.org/10.1029/95GB01070>
- [2] Banahan, S. and Goering, J.J. (1986) The production of biogenic silica and its accumulation on the southeastern Bering Sea shelf. *Continental Shelf Research*, **5**, 199-213. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(86\)90015-4](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(86)90015-4)
- [3] Ragueneau, O., Treguer, P., Leynaert, A., et al. (2000) A review of the Si cycle in the modern ocean: Recent progress and missing gaps in the application of biogenic opal as paleoproductivity proxy. *Global and Planetary Change*, **26**, 317-365. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8181\(00\)00052-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00052-7)
- [4] Johnson, T.C., Brown, E.T., McManus, J., et al. (2002) A high resolution paleoclimate record spanning the past 25000 years in southern east Africa. *Science*, **296**, 113-132. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1070057>
- [5] Broecker, W.S. and Peng, T.H. (1982) Tracers in the sea. Eldigio, New York.
- [6] DeMaster, D.J., Ragueneau, O. and Nittouer, C.A. (1996) Preservation and accumulation rates for biogenic silica and organic C, N, and P in high-latitude sediments: The Ross Sea. *Journal of Geophysical Research*, **101**, 18501-18518. <http://dx.doi.org/10.1029/96JC01634>
- [7] DeMaster, D.J. (1981) The supply and accumulation of the silica in the marine environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **45**, 1715-1732. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(81\)90006-5](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(81)90006-5)
- [8] Archer, D., Lyle, M., Rodgers, K., et al. (1993) What controls opal preservation in tropical deep-sea sediments. *Paleoceanography*, **8**, 7-21. <http://dx.doi.org/10.1029/92PA02803>
- [9] Rabouille, C.P., Treguer, P., et al. (1997) Biogenic silica recycling in surficial sediments across the Polar Front of the Southern Ocean (Indian Sector). *Deep-Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, **44**, 1151-1176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0645\(96\)00108-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-0645(96)00108-7)
- [10] 李粹中 (1989) 南海深水碳酸盐沉积作用. *沉积学报*, **2**, 35-41.
- [11] 陈晓良, 赵泉鸿, 翦知湣 (2002) 南海北部 ODP1148 站中新世以来的碳酸盐含量变化及其古环境意义. *海洋地质与第四纪地质*, **2**, 69-74.
- [12] 陈芳, 黄永祥, 段威武, 陆钧 (2002) 南海西部表层沉积中的钙质超微化石. *海洋地质与第四纪地质*, **3**, 35-40.
- [13] 郭建卿, 陈荣华, 赵庆英 (2006) 南海北部表层沉积物中浮游有孔虫分布特征与环境意义. *海洋学研究*, **1**, 19-27.
- [14] 赵焕庭 (1996) 南沙群岛自然地理. 科学出版社, 北京.
- [15] 汪品先, 李荣凤 (1995) 末次冰期南海表层环流的数值模拟及其验证. *科学通报*, **1**, 51-53.
- [16] Mortlock, R.A. and Froelich, P.N. (1989) A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep-Sea Research*, **36**, 1415-1426.
- [17] 周鹏 (2007) 东海沉积物岩芯中生物硅的测定及其地层学分析. 硕士论文, 厦门大学, 厦门.
- [18] 叶曦雯 (2002) 胶州湾中生物硅的研究. 硕士论文, 中国海洋大学, 青岛.

- [19] 程思海, 陈道华 (2010) 海洋沉积物中碳酸盐测定方法的研究. *分析实验室*, **S1**, 424-426.
- [20] 乔淑卿, 杨作升, 潘燕俊 (2006) 沉积物中碳酸盐(方解石和白云石)测定方法的研究. *中国海洋大学学报*, **3**, 484-488.
- [21] 叶曦雯, 刘素美, 张经 (2002) 黄海、渤海沉积物中生物硅的测定及存在问题的讨论. *海洋学报*, **1**, 131-134.
- [22] Heiri, O., Lotter, A.F. and Lemcke, G. (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, **25**, 101-110. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- [23] 吴时国, 罗又郎 (1994) 南海南部大陆架的残留沉积. *热带海洋*, **3**, 48-52.
- [24] 李欣, 邸宝平, 刘东艳 (2012) 烟台四十里湾表层沉积物中生物硅的研究. *海洋科学*, **12**, 32-38.
- [25] 王丽莎, 石晓勇, 张传松 (2008) 东海近岸沉积物中生物硅的分布. *海洋通报*, **4**, 117-120.
- [26] 刘芳 (2008) 北部湾水体及沉积物中生物硅的研究. 硕士论文, 厦门大学, 厦门.
- [27] 陆钧, 陈木宏, 陈忠 (2006) 南海南部现代水体与表层沉积硅藻的分布特征. *科学通报*, **2**, 66-70.
- [28] Sullivan, B.K., Miller, C.B., Peterson, W.T. and Soeldner, A.H. (1975) A scanning electron microscope study of the mandibular morphology of boreal copepods. *Marine Biology*, **30**, 175-182. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00391591>
- [29] Miller, C.B., Nelson, D.M., Weiss, C., et al. (1990) Morphogenesis of opal teeth in calanoid copepods. *Marine Biology*, **106**, 91-101. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02114678>
- [30] 毛文庆, 王卫强, 齐义泉 (2005) 夏季季风转换期间南沙群岛海域的温盐分布特征. *热带海洋学报*, **1**, 28-36.
- [31] 王汝建, 陈荣华 (2004) 白令海表层沉积物中硅质生物的变化及其环境控制因素. *地球科学*, **6**, 686-690.
- [32] 周鹏, 李冬梅, 刘广山, 等 (2010) 南海东北部和南部海域表层沉积物生物硅研究. *热带海洋学报*, **4**, 40-47.
- [33] 贾国东, 翦知潜, 彭平安, 汪品先, 傅家谟 (2000) 南海南部 17962 柱状样生物硅沉积记录及其古海洋意义. *地球化学*, **3**, 293-296.
- [34] 马金龙, 韦刚健, 贾国东 (2005) 碱提取法分析海洋沉积物生物硅方法中碎屑组分污染的评估及校正. *地球化学*, **3**, 285-290.
- [35] 王汝建, 翦知潜, 肖文申, 等 (2007) 南海第四纪的生源蛋白石记录: 与东亚季风、全球冰量和轨道驱动的联系. *中国科学*, **4**, 521-533.
- [36] 张兰兰, 陈木宏, 向荣, 等 (2007) 南海南部表层沉积物中生物硅的分布及其环境意义. *热带海洋学报*, **3**, 24-29.
- [37] 陈荣华, 徐建, 孟翎, 等 (2003) 南海东北部表层沉积中微体化石与碳酸盐溶跃面和补偿深度. *海洋学报*, **2**, 48-56.
- [38] 李学杰, 段威武, 魏国彦, 李扬 (1997) 近 2 万年来南海北部与西部碳酸盐旋回及其古海洋学意义. *海洋地质与第四纪地质*, **2**, 9-20.
- [39] 张江勇, 彭学超, 张玉兰, 王英民 (2011) 南海中沙群岛以北至陆坡表层沉积物碳酸钙含量的分布. *热带地理*, **2**, 125-132.
- [40] 李学杰, 陈芳, 刘坚, 黄雪华 (2004) 南海西部表层沉积物碳酸盐分布特征及其溶解作用. *地球化学*, **3**, 254-260.
- [41] 苏广庆, 王晓彬, 王有强, 等 (1993) 南海南部表层碳酸盐沉积. *中国科学*, **11**, 1209-1215.
- [42] 汪品先, 卞云华, 翦知潜 (1997) 南沙海区晚第四纪的碳酸盐旋回. *第四纪研究*, **4**, 294-300.