



| | |
|--------------------|--|
| Title | Seasonal ventilation of the Ba/Ca of the porites corals from northern South China Sea: Patterns and their environmental implication |
| Author(s) | Wei, GJ; Li, XH; Sun, M; Nie, BF |
| Citation | Diqiu Huaxue, 2000, v. 29, p. 67-72 |
| Issued Date | 2000 |
| URL | http://hdl.handle.net/10722/72806 |
| Rights | Creative Commons: Attribution 3.0 Hong Kong License |

文章编号: 0379 - 1726(2000)01 - 0067 - 06

南海北部珊瑚 Ba/Ca 比值的季节变化及其环境意义

韦刚健^{1,3}, 李献华¹, 孙 敏², 聂宝符⁴

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 香港大学 地球科学系, 香港; 3. 台湾大学 地质学系, 台北; 4. 中国科学院 南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘 要: 利用等离子体质谱技术分析了取自海南岛南部沿岸的现代滨珊瑚高分辨率的 Ba/Ca 比值。结果表明, 该珊瑚的 Ba/Ca 比值具有明显的双峰态的季节变化, 其中春季和秋季 Ba/Ca 比值较高, 而冬、夏两季则较低。海南岛南部及邻近地区季节降雨的变化所控制的陆源 Ba 输入是这些珊瑚 Ba/Ca 比值变化的重要控制因素, 而该区夏季相对较高的表层海水生产力可能也对其有重要影响。

关键词: 珊瑚; Ba/Ca 比值; 降雨; 表层海水生产力; 南海

中图分类号: P736.4 **文献标识码:** A

0 引 言

利用造礁珊瑚重建高分辨率的古海洋记录是当今全球气候环境演变研究的重要内容之一, 除了高精度高分辨率珊瑚温度计的研究热点外, 珊瑚的诸多微量元素含量的变化也蕴含着丰富的气候环境信息^[1], Ba 就是其中引人注目的微量元素之一。

Ba 在海水中的含量变化与营养物质循环密切相关^[2, 3], 在表层海水, 由于生物活动活跃, Ba 受生物活动影响形成 BaSO₄ 沉积或大量结合到碳酸盐中而含量较低; 而在深层海水, 由于碳酸盐和 BaSO₄ 被分解等原因而含量升高^[4]。生活在海水中的生物, 如珊瑚、有孔虫等其碳酸盐骨骼及壳直接记录了海水中的 Ba 含量变化, 可以作为海水中营养物质的变化的示踪剂, 进而推测海水循环的情况^[5, 6]。另一方面, 在沿岸海域, 河水输入对表层海水 Ba 含量的影响较大^[7, 8], 表层海水 Ba 含量的变化也可以反映陆源物质输入的情况。

本文利用等离子体质谱 (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) 方法分析了取自海南岛南部沿海的滨珊瑚 1976 ~ 1986 年的 Ba/Ca 比值变化 (时间的分辨率在月以上), 探讨其季节变化特征及其与气候环境变化的关系。

1 样品和分析

本文分析的澄黄滨珊瑚 (*Porites lutea*) 取自海南岛南岸的三亚湾 (18°12'N, 109°29'E), 水深在低潮面下 2 m 左右。海南岛南岸附近海域表层海流受季风控制, 冬季主要是东北到西南方向, 而夏季则正好相反, 为西南到东北方向^[9, 10]。样品的详细描述、分取及化学前处理见韦刚健等^[11]。

样品的仪器分析在中国科学院广州地球化学研究所的 PE Elan 6000 型 ICP-MS 上进行, Ba 和 Ca 均采用外标法测量, 分别以 ¹³⁸Ba 和 ⁴⁴Ca 为测量质量数, 并以 ¹⁰³Rh 作内标校正。为获得更精确的校正方程, 采用多个外部标准, 其中 Ba 的外标为美国地质调查局 (USGS) 标准物 BHVO-1、BCR-1 和中国国家一级标准物质 GSR-3, Ca 的外标除这三个外, 还加上大基体 Ca-Sr-Mg 标准溶液, 以保证所有样品的 Ca 和 Ba 含量均落在这些外标的最佳校正范围内, Ba 和 Ca 的校正方程相关系数均好于 0.999 9。外标的制备、仪器测量参数和校正方法见刘颖等^[12]。分析结果列于表 1, Ca 分析精度 (2σ) 在 1% 左右, Ba 则为 1% ~ 3% 之间, Ba/Ca (原子比值) 精度好于 5%。

收稿日期: 1999 - 02 - 11; 修订日期: 1999 - 11 - 15

基金项目: 中国科学院院长基金资助项目 (KJ95-321); 国家自然科学基金资助项目 (49803003); 香港 RCG 资助项目 (to MS)

作者简介: 韦刚健 (1968 -), 男, 助理研究员, 地球化学专业。

表 1 珊瑚样品的 Ba/Ca 分析结果

Table 1 Ba/Ca atomic ratios of the *Porites lutea* corals from Hainan

| 样品号 | Ba/Ca(× 10 ⁻⁶) | 样品号 | Ba/Ca(× 10 ⁻⁶) | 样品号 | Ba/Ca(× 10 ⁻⁶) | 样品号 | Ba/Ca(× 10 ⁻⁶) |
|---------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| SYb-000 | 3.360 | SYb-035 | 4.296 | SYb-068 | 3.857 | SYb-103 | 4.282 |
| SYb-001 | 3.240 | SYb-036 | 3.752 | SYb-069 | 3.705 | SYb-104 | 4.009 |
| SYb-002 | 3.264 | SYb-036-2 | 3.730 | SYb-070 | 3.745 | SYb-105 | 4.195 |
| SYb-003 | 3.281 | SYb-037 | 3.742 | SYb-071 | 3.602 | SYb-106 | 4.989 |
| SYb-004 | 3.353 | SYb-038 | 3.998 | SYb-072 | 3.518 | SYb-107 | 4.181 |
| SYb-005 | 3.473 | SYb-039 | 4.582 | SYb-073 | 2.933 | SYb-108 | 4.057 |
| SYb-006 | 3.617 | SYb-040 | 4.910 | SYb-074 | 2.587 | SYb-109 | 4.017 |
| SYb-007 | 3.651 | SYb-041 | 5.270 | SYb-075 | 3.890 | SYb-110 | 4.092 |
| SYb-008 | 3.589 | SYb-042 | 5.288 | SYb-076 | 3.192 | SYb-111 | 3.543 |
| SYb-009 | 3.305 | SYb-043 | 4.048 | SYb-077 | 3.117 | SYb-112 | 3.696 |
| SYb-010 | 3.382 | SYb-044 | 3.907 | SYb-078 | 2.941 | SYb-113 | 3.999 |
| SYb-011 | 4.167 | SYb-044-2 | 4.005 | SYb-079 | 3.369 | SYb-114 | 3.704 |
| SYb-012 | 3.919 | SYb-045 | 3.688 | SYb-080 | 3.891 | SYb-115 | 4.010 |
| SYb-013 | 3.412 | SYb-046 | 3.467 | SYb-081 | 3.832 | SYb-116 | 3.951 |
| SYb-014 | 3.859 | SYb-047 | 3.204 | SYb-082 | 3.264 | SYb-117 | 3.858 |
| SYb-015 | 3.977 | SYb-048 | 3.115 | SYb-083 | 3.039 | SYb-118 | 4.033 |
| SYb-016 | 3.957 | SYb-049 | 3.416 | SYb-084 | 3.632 | SYb-119 | 3.689 |
| SYb-017 | 3.814 | SYb-050 | 4.350 | SYb-085 | 4.682 | SYb-120 | 3.160 |
| SYb-018 | 3.922 | SYb-051 | 4.289 | SYb-086 | 4.359 | SYb-121 | 3.036 |
| SYb-019 | 4.185 | SYb-052 | 4.176 | SYb-087 | 3.984 | SYb-122 | 3.125 |
| SYb-020 | 4.674 | SYb-053 | 4.043 | SYb-088 | 3.815 | SYb-123 | 3.157 |
| SYb-021 | 4.514 | SYb-054 | 3.602 | SYb-089 | 3.783 | SYb-124 | 3.530 |
| SYb-022 | 3.736 | SYb-055 | 3.567 | SYb-090 | 3.960 | SYb-125 | 3.637 |
| SYb-023 | 3.527 | SYb-056 | 3.673 | SYb-091 | 4.669 | SYb-126 | 3.703 |
| SYb-024 | 3.752 | SYb-057 | 4.051 | SYb-092 | 4.311 | SYb-127 | 3.786 |
| SYb-025 | 4.050 | SYb-058 | 4.298 | SYb-093 | 4.133 | SYb-128 | 4.138 |
| SYb-026 | 4.155 | SYb-059 | 4.530 | SYb-094 | 3.828 | SYb-129 | 3.891 |
| SYb-027 | 4.730 | SYb-060 | 3.745 | SYb-095 | 3.440 | SYb-130 | 3.468 |
| SYb-028 | 4.573 | SYb-061 | 3.286 | SYb-096 | 4.137 | SYb-131 | 3.618 |
| SYb-029 | 4.426 | SYb-062 | 3.126 | SYb-097 | 3.840 | SYb-132 | 3.365 |
| SYb-030 | 4.130 | SYb-063 | 3.296 | SYb-098 | 4.236 | SYb-133 | 3.386 |
| SYb-031 | 4.049 | SYb-064 | 3.675 | SYb-099 | 4.427 | SYb-134 | 3.368 |
| SYb-032 | 4.057 | SYb-065 | 3.704 | SYb-100 | 4.588 | SYb-135 | 3.712 |
| SYb-033 | 4.377 | SYb-066 | 3.974 | SYb-101 | 5.002 | SYb-136 | 3.481 |
| SYb-034 | 4.345 | SYb-067 | 3.557 | SYb-102 | 4.516 | SYb-137 | 3.556 |

注: Ba/Ca 比值为原子含量比值。

2 结果和讨论

Ba/Ca 比值变化的时间序列由同步分析的 Mg/Ca 比值确定, 由于珊瑚的 Mg/Ca 比值变化主要由温度控制, 将 Mg/Ca 比值与实测表层海水温度 (Sea Surface Temperature, SST) 进行相位对照, 即可确定其时间序列^[13]。

珊瑚的 Ba/Ca 比值随时间的变化情况如图 1 所示, 其最高值出现于 1979 年 7 月左右, 达到 5.29×10^{-6} , 而最低值则在 1982 年 2 月, 为 2.59×10^{-6} 。与东太平洋的珊瑚结果相比, 海南岛南岸的 Ba/Ca 比值有更高的最高值和更低的最低值, 但总体的比值变化范围却是相当的^[1, 5]。这些差别主要是由这两个海域海水组成及所分析的珊瑚种属的不同所致。

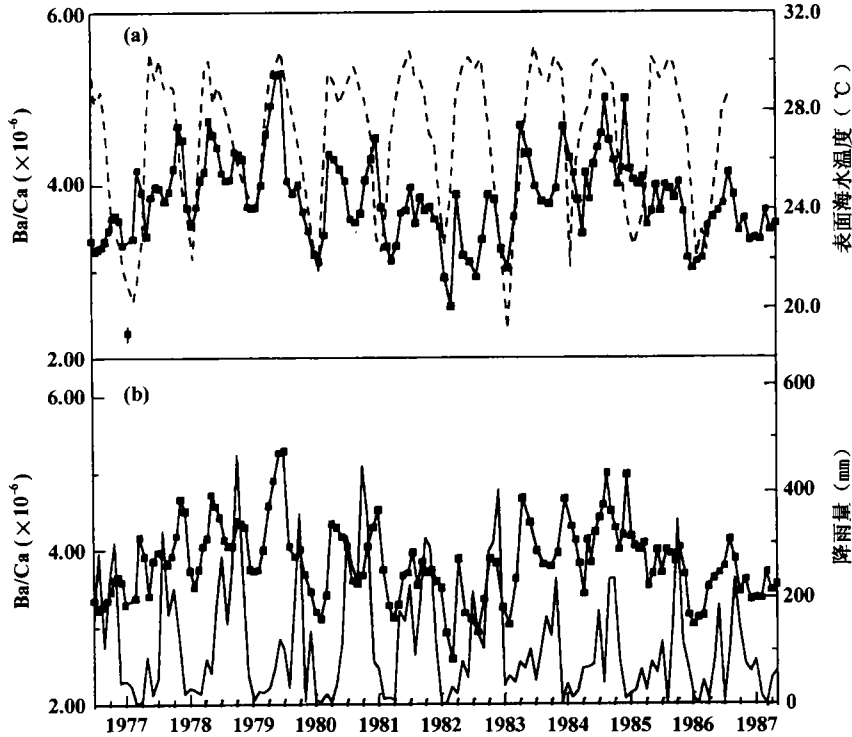


图 1 珊瑚 Ba/Ca 比值变化图

Fig. 1 Variation of the coralline Ba/Ca ratios

a. 随 SST 的变化; b. 随海南岛南部(琼海和东方的平均)月降雨量的变化。

图中带方块标志的为 Ba/Ca 比值,无标志线分别代表 SST 和降雨量,雨量数据来自 NOAA 中心^[14], 上图左下角的标志代表 Ba/Ca 比值的 2σ 误差范围,年度值对应于每年的开始。

海南岛南岸从 1977 年到 1987 年的珊瑚 Ba/Ca 记录,在大部分年份内表现为双峰式的变化特征(图 1),其峰值大多出现在春季(3 月~5 月)和秋季(9 月~11 月),而在盛夏(7 月~8 月)和冬季的 12 月~1 月, Ba/Ca 比值大多出现低谷。另外,每年的最低珊瑚 Ba/Ca 记录则出现于冬季气温最低的时候或邻近月份。

珊瑚 Ba/Ca 比值和海水之间的分配系数在 1.3 左右^[5],而南海礁区海水的 Ca 含量约为 0.35 g/kg 左右^[15],海南岛南岸近岸海域月均盐度变化在 32‰~34‰之间^[16],根据这些参数可以估算,海南岛南岸近岸表层海水 Ba 含量变化在 18.8~38.3 nmol/kg 之间(盐度校正到 35‰),高值稍高于西太平洋表层水(约 34 nmol/kg)^[2],而低值则明显要低于西太平洋的表层水。

2.1 表层海水温度的影响

Ba/Ca 比值在珊瑚骨骼和海水之间的分配系数 $K_D [K_D = (Ba/Ca)_{珊瑚} / (Ba/Ca)_{海水}]$ 受温度的影响不大,根据 Lea *et al.*^[5] 的估计,东太平洋的珊瑚 Ba/

Ca 比值变化中大约只有 1/3 可能与温度有关,而 Shen *et al.*^[11] 估计只有 1/5 左右,所以 SST 不是珊瑚 Ba/Ca 比值变化的主要因素,珊瑚 Ba/Ca 比值变化主要反映表层海水的 Ba 含量变化。

值得注意的是,温度对珊瑚 Ba/Ca 比值的影响结果是:温度越高珊瑚 Ba/Ca 比值则越低,反之温度越低珊瑚 Ba/Ca 比值越高^[1,5]。海南岛南岸的珊瑚 Ba/Ca 记录却表现为冬季低 SST 时最低,表明温度的影响不大,而且完全被海水的 Ba 含量变化所掩盖。至于盛夏(7 月~8 月)出现的低 Ba/Ca 比值,较高 SST 对可能其中有一定的贡献,但考虑到不少年份,如 1980、1982、1983、1984 年等,盛夏季节珊瑚 Ba/Ca 的降低接近全年变化幅度的 2/3,远超出温度所能影响的范围,所以这些变化仍主要反映表层海水 Ba 含量的变化。另一方面,由于目前还没有定量的珊瑚 Ba/Ca 比值与 SST 的关系,无法合理扣除这些珊瑚 Ba/Ca 比值中 SST 变化的贡献。

2.2 海南岛南岸海域表层海水 Ba 来源

表层海水中由于生物活动,溶解 Ba 含量较低,

GEOSECS 在西太平洋的结果表明, 30 m 水深左右, 溶解 Ba 含量在 34 nmol/kg 左右, 而到 500 m 水深则达 50 nmol/kg 左右, 到 1 200 m 水深则达 95 nmol/kg 左右^[3]。在开阔大洋, 表层海水的 Ba 的补充主要来自高 Ba 含量的深层海水上升加入^[5], 而在近岸浅海海域, 陆源 Ba 的加入占重要的地位。大量陆壳风化产生的 Ba 以溶解和吸附在粘土矿物或其他颗粒物上的形式被河水携带, 在河口处颗粒物上的 Ba 被解吸, 连同溶解 Ba 加入到海水中。在不同河口处, 河水贡献的 Ba 含量达 160~1 200 nmol/kg 左右^[7], 对邻近海域的表层海水 Ba 含量有重要影响。除了河流输入外, 沿岸地区地下水和海水的交换对近岸海水的 Ba 补充也非常显著, 其所影响的近岸表层海水 Ba 含量变化在 23~140 nmol/kg 左右^[8]。

遗憾的是, 海南岛附近海域和周围主要河流还没有直接测量的水体 Ba 含量的记录, 我们还无法定量计算海南岛南岸表层海水的各主要来源的贡献, 在此只能做一些估计。

在海南岛南岸海域水深都不到 200 m, 从西太平洋海水剖面结果看, Ba 含量随水深变化甚微^[3], 所以局部海域的下层水上升不影响表层海水的 Ba 含量变化。另一方面, 由于这个海域并没有较大的河流直接输入, 所以该区表层海水的 Ba 含量的变化应主要由沿岸地下水输入量的变化, 或者是邻近海域表层海水的变化通过表层海流传输到该区的影响, 其中后者包括河水输入和深层海水上升两种情况。

2.3 Ba 输入源的变化

海南岛及其邻近地区为典型季风亚热带气候

区, 河流的径流量主要由降雨控制, 而该区地下水量也主要和降雨量有关。在降雨量大的时期, 河水输入的 Ba 量增加, 同时地下水量也比较充足, 向沿岸海水输入的量也相应加大。

图 2 所示为海南岛及邻近地区的最近 50 年以来月平均降雨的变化情况, 数据来源于美国 NOAA 气象数据中心 <http://www.ncdc.noaa.gov> 的全球气候记录网站 (Global Historical Climatology Network, GHCN)。图 2 为据 GHCN 记录整理的结果, 各站的位置见表 2。

表 2 本文引用的水文站位置

Table 2 Locations of the referred meteorological stations

| | |
|------------------------|------------------------|
| 广州 23. 13°N, 113. 10°E | 琼海 19. 23°N, 110. 47°E |
| 北海 21. 48°N, 109. 10°E | 东方 19. 10°N, 108. 62°E |
| 芒街 21. 52°N, 107. 97°E | 洞海 17. 52°N, 106. 58°E |
| 海口 20. 03°N, 110. 35°E | 峴港 16. 03°N, 108. 18°E |

珠江水系(以广州为代表), 降雨峰期在 5 月~9 月之间; 输入北部湾的主要水系, 如红河(以越南芒街为代表)及广西沿海地区(以北海为代表), 降雨高峰在 7 月~8 月, 这些地区的降雨峰期与海南岛南岸珊瑚的 Ba/Ca 比值 4 月和 10 月左右的峰期并不一致。另外, 由于这些地区离海南岛南岸海域有较长的距离, 其输入的陆源物质在到达海南岛南岸海域前已被海水充分混合, 估计这些地区的陆源输入对海南岛南岸珊瑚 Ba/Ca 比值的影响不大。

海南岛的降雨的峰期主要在 9 月份, 而每年的 1 月和 2 月则是降雨最少的月份(图 2b), 意味着在海南岛局部地区陆源 Ba 输入的最大值主要在 9 月

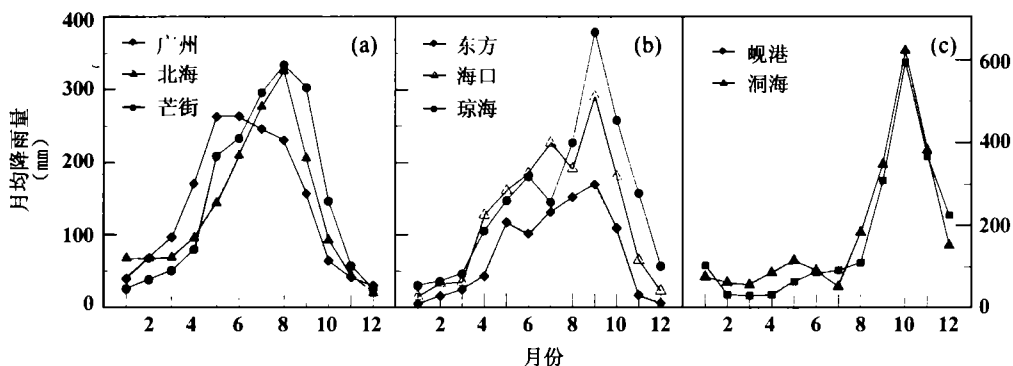


图 2 海南岛及邻近地区月均降雨量变化

Fig. 2 Monthly precipitation pattern in the area near Hainan Island

a. 华南及越南北部地区; b. 海南岛; c. 越南中部沿海。

据美国 NOAA 气象数据中心的 GHCN 记录^[14]整理计算。

份附近, 最小值在 1 月~2 月份。图 1b 所示则是海南岛南部降雨(以琼海和东方的平均来代表)的详细记录和珊瑚 Ba/Ca 比值的变化的比较, 其中珊瑚 Ba/Ca 比值冬季的低值和 10 月份左右的峰值和降雨形势相当一致, 表明降雨控制的局部陆源 Ba 输入是海南岛南岸珊瑚 Ba/Ca 比值变化的重要控制因素。另外, 紧邻该区的越南中部沿海地区, 以洞海、岬港为代表, 降雨的峰期在 10 月, 最低值为 2 月左右(图 2c), 这些地区的陆源输入可能对海南岛南岸珊瑚 Ba/Ca 比值变化有一定的贡献。

然而仅由降雨控制仍没法解释出现于 4 月左右的珊瑚 Ba/Ca 峰值, 虽然在个别年份, 海南岛南部在 4 月左右会出现一个降雨的峰值, 如 1978、1981 和 1984 年等, 这些降雨峰值和 Ba/Ca 比值相一致, 但在不少 4 月份降雨不多的年份, 珊瑚 Ba/Ca 比值的峰也非常明显。一方面, 由于我们并没有三亚的局部降雨资料, 可能我们用的琼海和东方的平均所代表的三亚的局部降雨和实际情形有所差别, 另一方面, 可能有邻近海域上升流的影响。

南海主要的影响到表层海水的上升流受季风控制, 夏季出现于越南中部沿岸海域, 而冬季则出现于吕宋岛西南沿岸海域^[9, 10]。而南海的表层海流也主要由季风驱动, 夏季受西南风影响, 表层海水向东北方向流动, 出现于越南中部沿岸的上升流带到表层海水的富 Ba 深层水可能会到达海南岛南岸, 对珊瑚 Ba/Ca 比值 10 月左右的峰值可能有所贡献。但冬季吕宋西南海域的上升流带入的深层水, 一方面距离较远, 而另一方面冬季表层海流受东北风控制向西南流动, 基本不会影响到海南岛南岸海域。由此看来, 季风控制的上升流对这些珊瑚的 Ba/Ca 比值的影响有限, Ba/Ca 比值 4 月份左右的峰值的控制因素仍然不清楚。

2.4 表层海水生产力变化的影响

除了 Ba 输入源的变化外, 表层海水中 Ba 去除的变化也是很重要的控制因素。表层海水中的 Ba, 一部分是结合到生物碳酸盐壳中而去除, 更主要的部分(约 70%)则是以 BaSO₄ 形式沉积而从表层海水中去除的, 而且 BaSO₄ 的生成量和生物有机碳的生成量直接相关^[4]。所以当表层海水初级生产力较高时, 生成 BaSO₄ 的量就越多, 表层海水中 Ba 被去除的量就大, Ba 含量就较低。

一般来说, 表层海水生物碳酸钙的生成量和有机碳的生成量成正比^[17], 如果珊瑚生长速率的变化

可以代表该区表层海水生物碳酸钙生成量的变化, 那么在海南岛南岸, 夏季珊瑚生长速率较快^[18], 意味着夏季该区表层海水生产力较高, 表层海水中 Ba 去除量较大, Ba 含量也就较低。这很可能就是夏季珊瑚 Ba/Ca 比值出现低谷的重要原因。但是, 目前我们并没有实测的该区表层海水生产力的季节变化资料, 没法定量地讨论这种因素的影响。不过, 据珊瑚结果估算出来的该区表层海水 Ba 含量为 18.8~38.3 nmol/kg, 与西太平洋低营养表层水(34 nmol/kg)相比大多明显偏低, 表明该区表层海水生产力比较强, 对表层海水中 Ba 含量的影响也较强, 所以生产力的变化是非常可能的珊瑚 Ba/Ca 比值变化的因素。

综上所述, 海南岛南岸珊瑚 Ba/Ca 比值的季节变化最可能的解释是, 在夏秋季节(特别是 9 月~10 月份, 由于降雨的原因, 陆源输入的 Ba 量较大, 表层海水 Ba 含量较高, 而冬季则相对较低; 而另一方面, 夏季 SST 较高的月份, 表层海水生产力较高, Ba 从表层海水中去除量较大, 造成海水中 Ba 含量出现低谷。但如果要更好地定量解释珊瑚 Ba/Ca 比值的这种变化, 还必须有定量的陆源输入源及表层海水生产力的资料。

3 小 结

通过对海南岛南岸滨珊瑚高分辨率的 Ba/Ca 比值的探讨, 获得以下一些结论。

(1) 海南岛南岸珊瑚的 Ba/Ca 比值呈现双峰态的季节变化特征, 其中在春秋季节 Ba/Ca 比值较高, 而在冬夏季节较低。

(2) 降雨控制的陆源 Ba 输入对该区表层海水 Ba 含量有重要影响, 海南岛南部及邻近地区秋季的降雨高峰及冬季的低雨量是这些珊瑚 Ba/Ca 比值变化的重要控制因素, 但春季珊瑚高 Ba/Ca 比值的控制因素仍然不很清楚。

(3) 夏季珊瑚 Ba/Ca 比值的低值可能由该区夏季较高的表层海水生产力所致。

海南省海洋厅、三亚珊瑚礁自然保护区和中国科学院南海海洋研究所三亚海洋实验站为样品采集提供帮助, 刘海臣副研究员、刘颖工程师和王甘霖工程师协助完成分析工作, 在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Shen G T, Cole J E, Lea S W, *et al.* Surface ocean variability at Galapagos from 1936 ~ 1982: Calibration of geochemical tracers in corals [J]. *Paleoceanography*, 1992, 5: 563 ~ 588.
- [2] Bacon M P, Edmond J M. Barium at GEOSECS III in the South-west Pacific [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1972, 16: 66 ~ 74.
- [3] Falkner K K, Klinkhammer G P, Bowers T S, *et al.* The behavior of barium in anoxic marine waters [J]. *Geochim Cosmoch Acta*, 1993, 57: 537 ~ 554.
- [4] Dymond J, Suess E, Lyle M. Barium in deep sea sediment: A geochemical proxy for paleoproductivity [J]. *Paleoceanography*, 1992, 7: 163 ~ 181.
- [5] Lea D W, Shen G T, Boyle E A. Coralline barium records temporal variability in equatorial Pacific upwelling [J]. *Nature*, 1989, 340: 373 ~ 376.
- [6] Lea D W, Boyle E A. Barium content of benthic foraminifera controlled by bottom-water composition [J]. *Nature*, 1989, 338: 751 ~ 753.
- [7] Coffey M, Dehairs F, Collette O, *et al.* The behavior of dissolved barium in estuaries [J]. *Estuarine Coastal Shelf Sci*, 1997, 45: 113 ~ 121.
- [8] Shaw T J, Moore W S, Kloepfer J, *et al.* The flux of barium to the coastal waters of the southeastern USA: The importance of submarine groundwater discharge [J]. *Geochim Cosmoch Acta*, 1998, 62: 3 047 ~ 3 054.
- [9] Shaw P T, Chao S Y. Surface circulation in the South China Sea [J]. *Deep Sea Res*, 1994, 41: 1 663 ~ 1 683.
- [10] Chao S Y, Shaw P T, Wu S Y. Deep water ventilation in South China Sea [J]. *Deep Sea Res*, 1996, 43: 445 ~ 466.
- [11] 韦刚健, 李献华, 聂宝符, 等. 南海北部滨珊瑚高分辨率 Mg/Ca 温度计 [J]. *科学通报*, 1998, 43(15): 1 658 ~ 1 661.
- [12] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素 [J]. *地球化学*, 1996, 25(6): 552 ~ 558.
- [13] Wei G J, Sun M, Li X H, *et al.* Mg/Ca, Sr/Ca and U/Ca ratios of a *Porites* coral from Sanya Bay, Hainan Island, South China Sea and their relationships to sea surface temperature [J]. *Palaeogeog P*, 2000 (in press).
- [14] Vose R S, Schmoyer R L, Steurer P M, *et al.* The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. ORNL/CDIAC-53, NDP-041 [Z]. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1992.
- [15] 郭丽芬, 朱袁智, 赵焕庭. 南沙群岛珊瑚礁区和大海水部分元素浓度的比较 [A]. 赵焕庭等. 南沙群岛及其邻近海区地球物理及岛礁研究论文集 (二) [M]. 北京: 科学出版社, 1994. 95 ~ 107.
- [16] 聂宝符. 南沙群岛及其邻近海区珊瑚礁及环境变化的关系 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 21 ~ 22.
- [17] Broecker W S. Glacial to interglacial changes in ocean chemistry [J]. *Prog Oceanogr*, 1982, 11: 157 ~ 197.
- [18] 聂宝符, 陈特固, 梁美桃, 等. 近百年来南海北部珊瑚生长速率与海面温度变化的关系 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1996, 26(1): 59 ~ 66.

Seasonal ventilation of the Ba/Ca of the *porites* corals from northern South China Sea: Patterns and their environmental implication

WEI Gang-jian^{1,3}, LI Xian-hua¹, SUN Min², NIE Bao-fu⁴

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2. *Department of Earth Sciences, The University of Hongkong, Hongkong, China*; 3. *Department of Geology, National Taiwan University, Taipei, China*; 4. *South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou, 510301, China*)

Abstract: High-resolution Ba/Ca ratios of a modern *Porites* coral from Sanya Bay, offshore of Hainan Island, were measured by ICP-MS. The results exhibit seasonal periodical ventilation of the coralline Ba/Ca ratios with higher Ba/Ca ratios in spring and autumn and lower in winter and summer. Variation of the terrestrial Ba flux to this area, which was controlled by seasonal precipitation of Southern Hainan Island and surrounded areas, is the key role to these Ba/Ca patterns. On the other hand, the relatively high surface productivity of the area in summer may contribute to the lower Ba/Ca ratios of the coral.

Key words: coral; Ba/Ca ratios; precipitation; surface productivity; South China Sea