

# 海洋古生产力重建初探\*

## ——以南沙群岛海区 NS90-103 柱样为例

吴时国      涂   霞      罗又郎

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

**提要**      以南沙海区 NS90-103 柱样为例,利用各种古生产力指示物,如有机碳含量、有孔虫壳和有孔虫碳同位素,重建了 200 000a 以来古生产力变化,并对结果予以讨论。

**关键词**      古生产力,有机碳,有孔虫,南沙海区

沉积物记录中海洋生产力长期变化的证据  
对有关生产力控制因素正在进行的讨论极为重

---

\* 中国科学院南沙综合考察研究报告 D0068 号。

收稿日期:1995 年 1 月 2 日

要。海洋生产力重建逐渐证实这一假设——大气 CO<sub>2</sub> 变化是导致海洋生产力变化的可能原因<sup>[1]</sup>。因此,古生产力变化又可指示大气 CO<sub>2</sub> 分压的变化。

本文以南沙海区 NS90-103 柱样为例,探讨用于海洋生产力重建的基本方法及其在 NS90-103 柱样中应用时所出现的问题。集中讨论 3 种生产力的指示物,即(1)有机碳含量;(2) 有孔虫壳;(3) 有孔虫碳同位素。

南沙海区是位于低纬度区的热带海洋。NS90-103 柱样位于该区西北部的大陆坡,具体位置为 110°23.91'E,11°11.54'N,水深 1 584m。柱样长度为 572cm,由氧同位素曲线确定的底界年龄为 228ka。古地磁资料表明 480cm 出现 瑟琶湖 C 反极性事件,由此推断底界年龄为 208ka;不平衡铀系法获得年龄为 238ka。*Globigerinoides sacculifer* 的氧同位素曲线如图 1 所示,用 SPECMAP 氧同位素地层学时标<sup>[2]</sup>控制各期界线处的年代。

1 有机碳含量作为古生产力的指示物

现代有机碳全球分布形式与古生产力的分布形式的吻合是把有机碳作为古生产力变化的指示物的基础,尽管把这一方法运用到更老历史时期将会出现许多问题。不少地质学家仍进行了十分有益的尝试。

1.1 Müller 和 Suess 方法

Müller 和 Suess<sup>[3]</sup>收集了大量的现代海底有机碳数据,总结了古生产力(R)和有机碳含量之间的经验公式:

$$R = \frac{C \cdot rd(1 - \varphi)}{0.003 \cdot S^{0.30}} \quad (1)$$

式中 C 代表有机碳含量(%);rd 为干容重(g/cm<sup>3</sup>);φ 为孔隙度(%);S 为沉积速率(cm/ka)。

在南沙工程地质研究中获得大量的 rd,φ 等物理参数<sup>[4]</sup>。南沙海区柱样土具有高孔隙度,孔隙比(e),绝大部分 e>1.5,最大可达 4.0。换算后的孔隙度大多大于 70~80%。相反,土的干容重比较小,一般在 0.6 左右。沉积速率资料

是用氧同位素划分的地层年代数据,由于缺少高分辨率的测年,沉积速率多选用各氧同位素期的平均值。选取上述参数后,应用该公式计算了南沙海区 NS90-103 柱样的古生产力值(表 1)。其值变化范围一般在 300~600gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>之间。

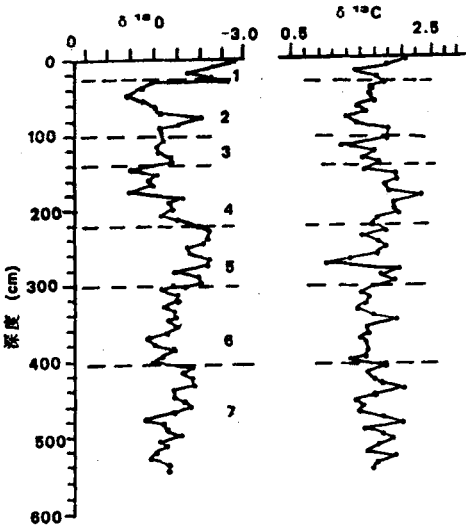


图 1 NS90-103 柱样碳氧同位素曲线

Fig. 1 Oxygen and carbon isotope curves of core NS90-103

表 1 NS90-103 柱样古生产力估算

Tab. 1 Estimate of paleoproductivity in sediment core NS90-103

| 深度(cm) | 古生产力值(gC/m <sup>2</sup> ·a) |                      |
|--------|-----------------------------|----------------------|
|        | 方法 I <sup>[6]</sup>         | 方法 II <sup>[2]</sup> |
| 10     | 469.1                       | 71.78                |
| 68     | 590.0                       | 89.58                |
| 126    | 370.7                       | 83.74                |
| 184    | 398.1                       | 85.68                |
| 242    | 395.9                       | 79.04                |
| 300    | 380.1                       | 78.02                |
| 358    | 380.4                       | 76.82                |
| 416    | 359.6                       | 71.14                |
| 474    | 371.2                       | 71.86                |
| 532    | 359.6                       | 71.14                |

用 Müller 和 Suess 方法<sup>[3]</sup>的缺陷在于用初级生产力而不是进入海底的通量,公式未修正水深的影响。

1.2 Sarnthein 公式

Sarnthein 等<sup>[1]</sup>修正了 Müller 和 Suess<sup>[3]</sup>公式。首先利用公式(2)计算新生产力或称输出生产力( $P_{\text{new}}$ ):

$$P_{\text{new}} = 0.0238(C^{0.6429})(S_B^{0.8575})(DBD^{0.5364}) \cdot (Z^{0.8292})(S_{B-C}^{-0.2392})$$

(2)式中  $C$  代表有机碳含量(%);  $S_B$  沉积速率(cm/ka);  $DBD$  为沉积物干容重(g/cm<sup>3</sup>);  $Z$  为水深(m);  $S_{B-C}$  为除去有机碳后的沉积速率(cm/ka)。新生产力和初级生产力之间的关系可由 Eppley 和 Peterson 公式<sup>[4]</sup>给出:

$$P_{\text{new}} = PP^2/400 \quad (3)$$

(3) 式中  $PP$  代表初级生产力。按照这一种方法,重新计算了 NS90-103 柱样的初级生产力,其值变化范围在 70~90gCm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。这与南沙海区现代初级生产力值相当吻合(表 2)。作者认为这一方法考虑了底层水氧浓度和水深,因此,其结果更趋合理。用这一公式计算的古生产力值要比 Müller 和 Suess<sup>[3]</sup>合理。在其他各洋区的工作<sup>[1]</sup>也证实这一看法。

表 2 不同海区初级生产力的比较

Tab. 2 Primary productivity of different areas

| 海区          | 初级生产力(gC/m <sup>2</sup> a)                   | 资料来源                            |
|-------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| 南沙海区        | 105~251                                      | Huang, L. M. [8]                |
| Oregon 大陆边缘 | 100                                          | Müller and Suess <sup>[6]</sup> |
| 太平洋         | 50~100                                       | 转引 Huang, L. M. [8]             |
| 印度洋         | 40~205                                       | 转引 Huang, L. M. [8]             |
| NS90-103    | 359~590 <sup>1)</sup><br>71~90 <sup>2)</sup> | 本文                              |

1) 方法 1; 2) 方法 2。

## 2 有孔虫作为初级生产力的指示物

### 2.1 底栖与浮游有孔虫的比值(B/P)

底栖有孔虫的丰度是供应到海底有机质的函数,因此,根据沉积物中底栖有孔虫的记录就可以重建有机质供给的历史。传统上,地质学家认为底栖有孔虫丰度与沉积盆地水深关系密切<sup>[5]</sup>。近来,一种观点认为底栖有孔虫组合特征强烈地受上覆水团的生产力影响。

浮游有孔虫对生产力变化的反映不如底栖有孔虫灵敏。因此,底栖与浮游有孔虫的比值

(B/P)随输出生产力变化。

NS90-103 柱样的 B/P 比值基本上反映出古生产的大体趋势(图 2A),第 2 期 B/P 值比 1 期高,第 4 期又较第 3 期高。从 B/P 与生产力正相关来看,冰期的古生产力比间冰期的古生产力高。然而,图 2A 中柱样底部的 B/P 值(第 5~第 7 期)远比上部的 B/P 值(1~2 期)要高,其原因尚不清楚。

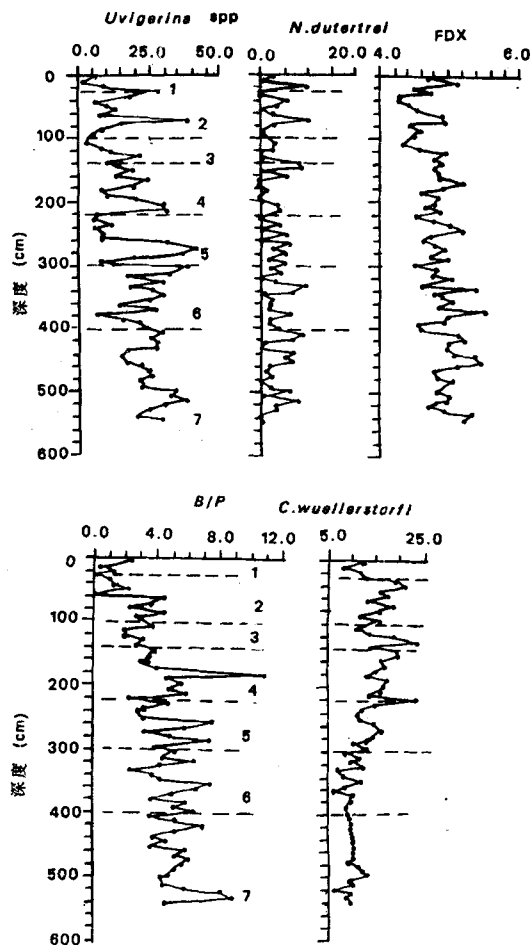


图 2 NS90-103 柱样有孔虫 B/P 和属种含量  
Fig. 2 B/P and species content of foraminifera in core NS90-103

Berger 指出,应用 B/P 作为古生产力指标的主要问题是不同壳体的差异溶解作用的影响。NS90-103 柱样主要由钙结壳底栖有孔虫组成,尽管 NS90-103 均由钙质壳组成,其浮游有

孔虫抗溶强度是不一样的,上部的溶解作用弱,下部强(图 2E),从而造成下部浮游有孔虫数量保存较少,上部浮游有孔虫数量保存较多。因而在该孔下部的  $B/P$  值增高。此外,由于水动力的分选和侧向物质的注入也可以改变  $B/P$  值。

## 2.2 属种含量变化

浮游有孔虫可以对生产力变化具有十分有意义的指示,例如 *G. bulloides* 长期以来用来做为上升流的指示物, *N. dutertrei* 与生产力呈正相关, Berger<sup>[6]</sup> 在研究西赤道太平洋时将该种与 *Pulleniatina obliquiloculata* 的比值用来反映冰期-间冰期生产力的高低。NS90-103 柱样沉积中 *N. dutertrei* 丰度大致反映出第 2 期、第 4 期古生产力较高,第 1 期明显低,这与  $B/P$  值的结论十分吻合。而且这些生产力的降低在底栖有孔虫种属变化中也得到反映。

底栖有孔虫组合必然随食物供给变化而变化,特别是在大陆边缘,在深海底栖类群中, *Uvigerina* spp 长期用来指示高食物供给条件。同  $B/P$  指标的对比证实这一观点。NS90-103 柱样 *Uvigerina* spp 与生产力变化呈正相关(图 2C),相反, *Cibicides wuellerstorfi* 与生产力呈负相关,也可用做为生产力变化的指示物。

## 3 有孔虫碳同位素与海洋古生产力

有孔虫碳同位素组成也是反映环境变化的一项参数,平衡沉积的  $\text{CaCO}_3$  其  $\delta^{13}\text{C}$  比值同样是周围海水  $\delta^{13}\text{C}$  比值和温度的函数。然而与氧同位素组成相比,碳同位素的情况要复杂得多<sup>[7]</sup>。

南海底栖有孔虫  $\delta^{13}\text{C}$  资料发表不多。王律江发表了 SO4-8KL 底栖有孔虫资料,以 *Uvigerina* 为载体,较好地反映了深层水的碳氧同位素组成。Duplessy<sup>[8]</sup> 的研究结果表明: *Uvigerina* 与海水达成  $\delta^{18}\text{O}$  平衡,其  $\delta^{13}\text{C}$  与海水中溶解  $\text{CO}_2$  差别为  $-0.83 \pm 0.07\%$  (95%置信度)。 *Cibicides* 与海水中溶解  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  差别为  $0.07 \pm 0.04\%$  (95%置信度)。作者以 *Cibicides wuellerstorfi* 为载体,研究了 NS90-103 孔的  $\delta^{13}\text{C}$  随深度变化曲

线(图 3);随图给出了 SO49-8KL 孔的  $\delta^{13}\text{C}$  随深度变化曲线。

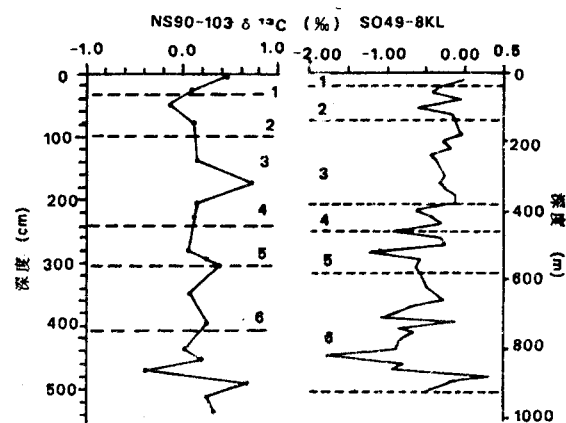


图 3 南海沉积柱样底栖有孔虫  $\delta^{13}\text{C}$  变化曲线  
Fig. 3 Variation of  $\delta^{13}\text{C}$  of benthic foraminifera in South China Sea

NS90-103 柱样底栖有孔虫  $\delta^{13}\text{C}$  值变化在  $-0.4 \sim 1.0\%$  之间,氧同位素第 2 期明显低于第 1 期,第 6 期低于第 5 期和第 7 期。在 SO49-8KL 中也充分体现这一点,其氧同位素第 2 期  $\delta^{13}\text{C}$  低于 1、第 3 期,第 4 期明显低于 3 期。总之反映出冰期  $\delta^{13}\text{C}$  较低,间冰期  $\delta^{13}\text{C}$  较高。

底栖有孔虫的  $\delta^{13}\text{C}$  波动反映出南海冰期表层海水生产力较高,冰期时,大陆架面积减少很多,整个泰国湾和巽他陆架成为陆地,大量营养元素被携带到深海,从而使其营养元素富集,表层生产力丰富,所合成的有机碳颗粒增加,进入深层水的有机碳增多,于是底层水的  $\delta^{13}\text{C}$  比值则降低,底栖有孔虫的  $\delta^{13}\text{C}$  自然就降低。这与前面的几种结论相一致。

## 4 结论

综上所述,可以获得以下几点结论:

4.1 沉积物参数,如有机碳含量、有孔虫属种和有孔虫碳同位素,是良好的古生产力指示物,它们可以定量或定性地反映初级生产力的变化。同时,对上述各指标的声明,特别是定量变化,是需要检验的。用几种指示物相互检验

是适当的。

4.2 应用多种指标估算了 NS90-103 柱样冰期-间冰期古生产力变化,初步认为冰期初级生产力较高,间冰期较低。用 Sarnthein 公式计算的初级生产力值与现今是吻合的。但需要在更大范围内检验。

## 参考文献

- [1] Sarnthein, M. , Winn, K. , Duplessy, J.-C. , *et al.* , 1988. *Paleoceanography* 3: 361-399.
- [2] Martinson, D. G. , Pisias, W. G. , *et al.* , 1987. *Quaternary Research* 27: 1-29.
- [3] Müller, P. J. and Suess, E. , 1979. *Deep Sea Research* 26 (2): 1 347-1 362.
- [4] Eppley, R. W. and Peterson, B. J. , 1979. *Nature* 282: 677-680.
- [5] Van der Zwaan, G. J. , Jorissen, *et al.* , 1990. *Marine Geology*. 95(1): 1-16.
- [6] Berger, W. H. 1977, Carbon Dioxide Excursions and the Deep Sea Record: Aspects of the Problem. In: The Fate of Fossil Fuel CO<sub>2</sub> in the Oceans, N. R. Andersen and A. Malahoff, (eds). , Plenum Press, New York.
- [7] Williams, F. , Rottger, Schmaljohann, *et al.* , 1981. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 33: 231-251.
- [8] Duplessy, J. C. , Shackleton, N. J. , *et al.* , 1984. *Quaternary Research* 21: 225-243.

# PRELIMINARY STUDY ON RECONSTRUCTION OF MARINE PALEOPRODUCTIVITY: AN EXAMPLE FROM CORE NS90-103 IN THE SEA AREAS OF NANSHA ISLANDS

Wu Shiguo, Tu Xia and Luo Youlang

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

Received: Jan. , 2, 1995

**Key Words:** Paleoproductivity, Organic carbon, Foraminifera, Nansha Islands

## Abstract

The three sediment parameters, such as organic matter content, foraminiferal shell and carbon isotopes in foraminifera, are good proxy for paleoproductivity. On the basis of these methods, the paleoproductivity of sediments core NS90-103 has been reconstructed. The changes of productivity between glacial and interglacial have been presented compelling evidence, which occurred high productivity during glacial and lower productivity during interglacial. Although the statements about changes of productivity, and especially quantitative changes, are necessarily tentative, the estimate values by using Sarnthein equation are 70-100  $\text{gC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{a}^{-1}$ , which is closely consistent with the present values which are calculated by data of Chlorophylla. It is suggested that several proxies above simultaneously are advisable.