

东海大陆架沉积物内大型底栖生物 和生源结构*

D. F. Boesch

(美国路易斯安那州立大学海洋联合研究中心)

唐质灿 徐凤山

(中国科学院海洋研究所)

K. J. Nilsen

(美国弗吉尼亚海洋科学研究所)

底栖生物对沉积过程和沉积类型的影响有两个方面,一是导致颗粒沉积物的沉积、再悬浮,或导致其稳定、垂直混合和粒级分层;二是影响液体和溶解性矿物质同覆水的交换^[9]。长江口外的东海大陆架区域辽阔(宽度超过 500km),包含着各种各样的沉积环境和生物^[1,4]。在 31°—33°N 之间的海域,低层水温的巨大梯度,形成一个介于亚热带和冷温带(或北温带)群落之间的极为明显的生物地理过渡带^[1]。沉积物从现代沉积中心的粘土到全新世海侵的残留砂皆有分布。

本文是 1980 和 1981 年中美东海沉积动力学联合调查的研究结果,简要地描述底栖生物的一般分布型,重点讨论沉积柱中大型底栖生物垂直分布的观测结果,并推断底栖生物在沉积过程中的作用。

一、方 法

在三个航次中,大型底栖生物都是用箱式取样器(开口面积为 0.06m² 和 0.25m² 两种规格)和 0.1m² 的彼得逊采泥器取样。本文主要是根据“向阳红 9 号”调查船 1980 年 6 月第一航次采集的大型底栖生物 25 个底质取样站样品进行分析的结果。站位分布见图 1。对其中许多取样站均用直径 15.2cm 的有机玻璃管从未受扰动的箱式取样器样品中采了柱状样,同时对其作垂直分层切割,各层分样均经过筛(网目为 0.5mm),并分别测定。箱式取样器中剩余的沉积物和采泥器中的样品均全部过筛。大型底栖动物都鉴定到最低的实用分类单元,并计个体数,生物量按大类测定。

大型底栖生物地理分布型的描述,是用多元分析(即数值分类)——包括数据平方根转换的计算与组平均分类聚类的 Bray-Curtis 相似性^[3]——和相互平均排序^[6]的方法进行

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1255 号。

本文曾在“东海及其他陆架沉积作用国际学术讨论会”(杭州,1983)上报告。中美两国许多学者对我们的工作给予很多帮助,其中有 Michael Kravitz, Rodney Bertelsen, 金庆朋, D. C. Rhoads 教授, D. Milliman 博士和刘瑞玉教授,他们或帮助采样,鉴定标本,或提供资料和宝贵意见,特此致谢。

的。大型底栖生物的垂直分布型同 D. C. Rhoads 对取自同一箱式取样器的沉积物片状样品拍摄的 X 光照片所显示的沉积结构进行了详细比较。

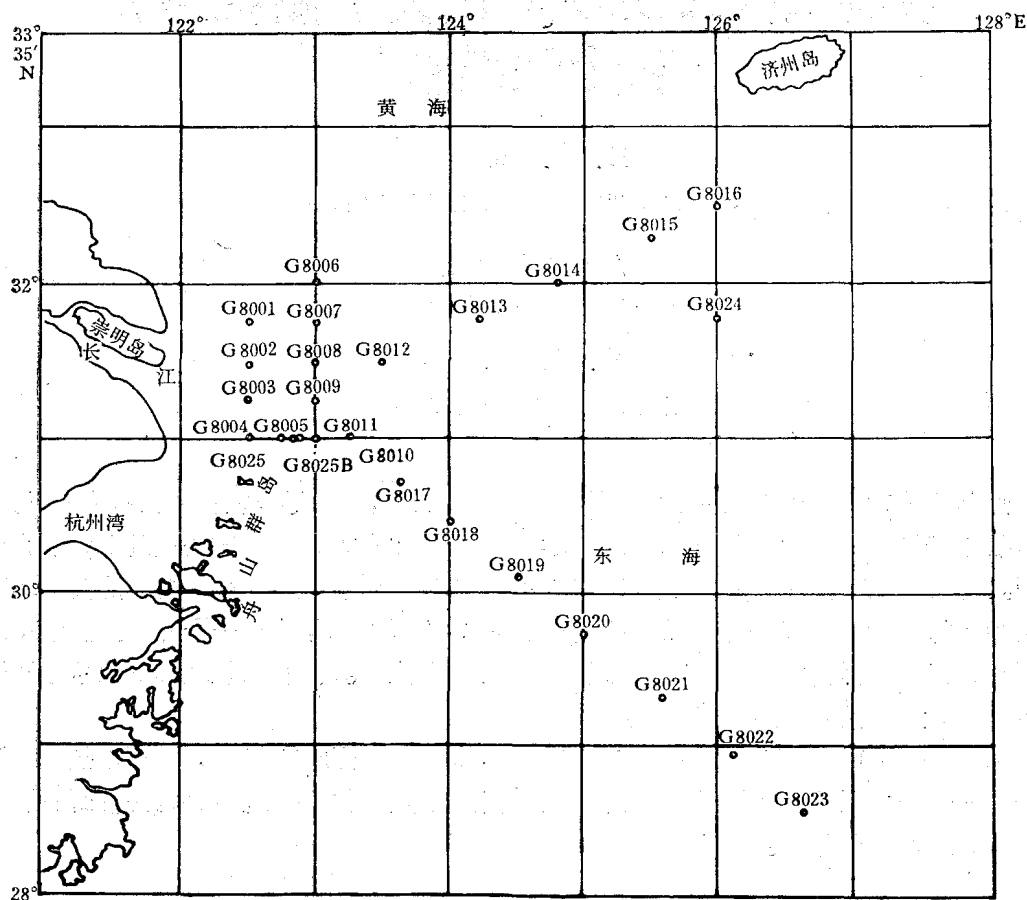


图 1 1980 年 6 月航次取样站位图

二、生物群落的分布

在作多元分析之前,我们先将各样品大型底栖动物丰度的数据(以个/ m^2 表示)予以缩简,均按出现于二个或二个以上站的种类进行计算。由于种类鉴定上的困难以及栖息密度和优势度均低,因而这一处理使外陆架各站所研究的种数大为减少。我们对代表 25 个站位的 58 个种的数据组进行分类和排序分析。由于数据缩简的原因,上述分析只好在除去 14, 15, 16, 18, 23 和 24 等站后(为了简化,各站号的前缀 G80 均予略去,下同)才进行数值分类;为进行相互平均排序分析,则除去 18, 23 和 24 三站。

数值分类(图 2)和排序分析(图 3)的两种结果都显示它们具有表明生物作用反映本海区的沉积状况和水文状况的相似模式。长江口外水下三角洲的沉积物是具有高沉积速率的粉砂和粘土沉积物^[8]。在这一区域,生物状况的差异反映了沉积物的沉积和堆积速率的变化。在沉积作用极为活跃的区域(4, 5 和 25 三站)底栖动物密度降低。在这些沉积

速率最高的环境中,优势种是小形多毛类 *Mediomastus cf. californiensis*, *Sigambra tentaculata*, *Sternaspis scutata* 和 *Tharyx* spp.。在三角洲沉积速率较低的区域(1, 2 和 3 站),与上述种类一起作为群落重要成员的,还有一些别的多毛类(主要是 *Heteromastus filiformis*, *Paraheteromastus cf. tenuis* 与海稚虫),蛇尾类 *Amphiura* sp. 和掘穴的小蟹豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheroides*)。这个群落称为短眼蟹群落^[9,10]。

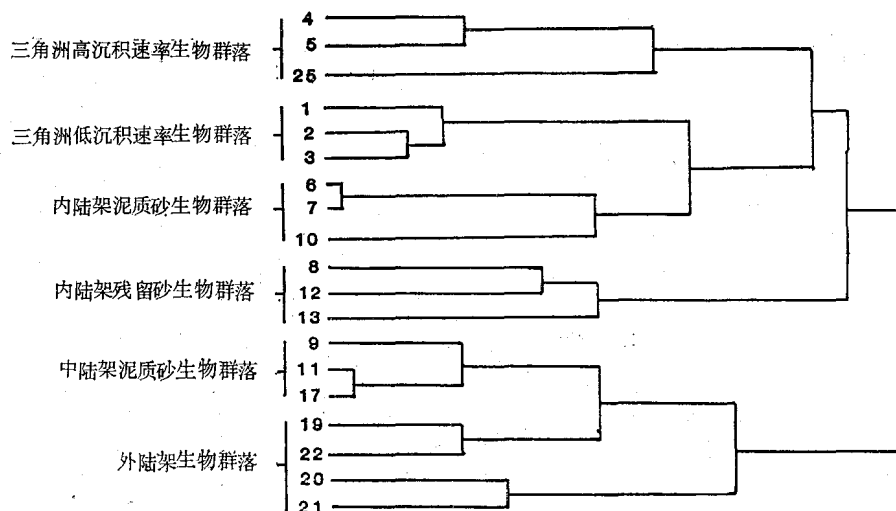


图2 1980年6月取样站大型底栖生物样品聚类分析图

在外海区,这种细粒的三角洲沉积物迅速变为残留细砂。三角洲周围的内陆架(6, 7 和 10 三站)的沉积物是含泥较少的泥质砂,栖息着若干代表低堆积率沉积物的特征种类(*Mediomastus*, *Sigambra* 与 *Amphiura*) 以及其他个体较大的多毛类 *Glycera chirori*, *Nephtys polybranchia* 与 *Onuphis eremita*, 滤食性生活的双壳类 *Cadella delta* 和 *Corbula venusta*。在出露于海侵砂层(8, 12 和 13 三站)上的较洁净的细砂(粉砂和粘土含量低于2%)和中砂(中值粒径为 0.22mm)中栖息的大型底栖动物,种类很少,其特征种为双壳类的 *Corbula venusta* 与 *Cadella delta*, 多毛类的 *Euzonus ezoensis* 与 *Glycera chirori* 以及螺赢蜆科端足类。青岛中国科学院海洋研究所早期拖网资料指出,在这一生态环境中还生活着个体较大的蛇尾类的 *Ophiura kinbergi* 和双壳类的 *Dosinia gibba*。

在三角洲东南面(9, 11 和 17 三站)和残留砂沉积区西北面(14 站)的中陆架区,沉积物是具有双峰态粒径频率分布的受过扰动的泥质细砂^[8]。生活在这里的特征种有多毛类 *Terebellides stroemi*, *Mediomastus cf. californiensis*, *Paralacydonia paradoxa*, *Tharyx* sp. 与 *Nephtys polybranchia* 以及小形管栖海稚虫科,缩头虫科的 *Maldane sarsi* 和双栉虫科的种类。潜穴生活的玉虾 *Callianassa* 和表层管栖的端足类,主要为双眼钩虾科和螺赢蜆科,也大量出现。中陆架泥质砂生境的大型底栖动物密度非常高(5000—20000个/m²),其单位面积种类丰度(每个样品多于 50 种)是本次调查中最高者。

14 站东北调查区的沉积物渐次变细,粉砂和粘土含量逐渐增加,由 14 站的 26% 增至 16 站的 59%,最后在济州岛以南大面积泥质沉积物中心的 24 站增达 99%。这些泥

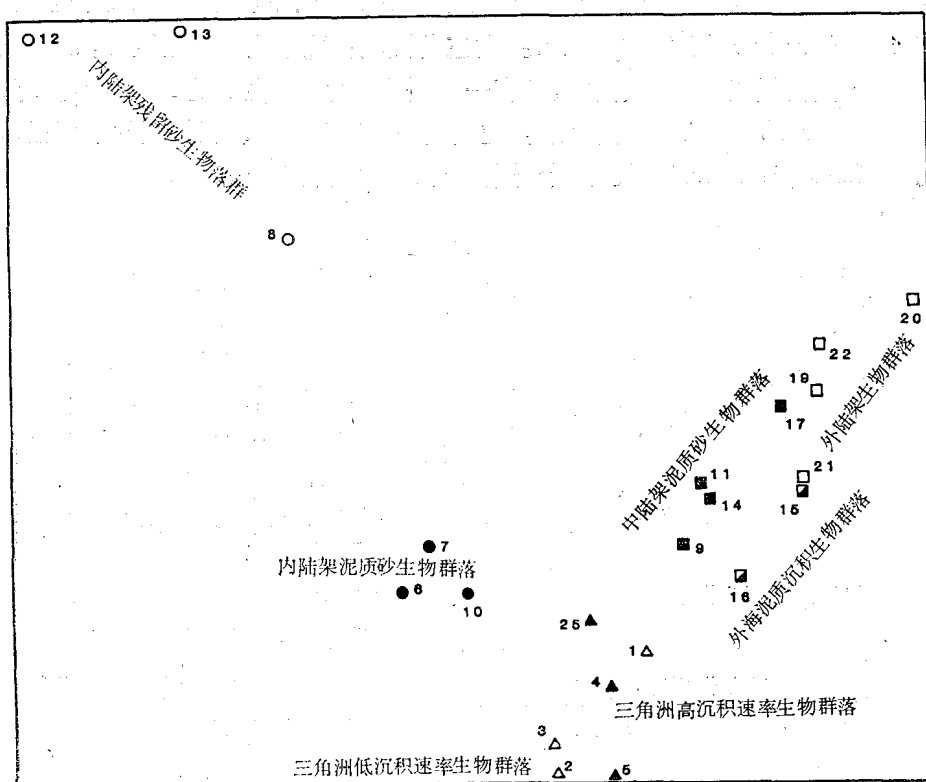


图3 1980年6月取样站大型底栖生物样品相互平均排序图

质沉积物是现代黄河扩散系的远侧部分^[8]。在这些沉积物中,大型底栖动物的种群一般很稀少(<3000 个/ m^2),各站明显的优势生物也极少。多毛类的 *Tharyx* sp. 是这里的随遇种,多毛类的小头虫和异毛虫及蛇尾类幼体(可能是 *Amphiopus*) 也很常见。在24站采到穴居生活的大型棘皮动物 *Schizaster lacunosus* (一种歪形海胆)和 *Protankyra bidentata* (一种海参)。先前的拖网样品发现有十足类甲壳动物的 *Carcinoplax longimanus* 与 *Nephrops thompsoni*, 海参类的 *Acaudina* sp. 和双壳类的 *Venus albida*, 它们都是本海区的特征种。调查区东南的外陆架($>70m$),沉积物为泥质砂(粉砂和粘土含量是20—30%),受黑潮暖流及其分支的影响^[1]。这一生态环境的特点是单体大型动物的密度通常很低,而多样性高,主要种类有 *Lumbrineris* spp., *Prionospio malayensis*, *Notomastus latericeus*, *Onuphis cremita* 和 *Callianassa* sp., 群体水螅虫 *Sertaria mirabilis*, *Sertularella* sp. 和苔藓虫 *Flabellapora* sp., *Smithina* spp. 也常出现。

三、垂直分布

长江三角洲附近几个站近表层沉积物内大型底栖生物和生源结构的垂直分布概括于图4—6中。据估计,4站的短期沉积速率100天内约为15cm,沉积作用的高速率和偶发性事件的影响表现在底栖生物的密度和生物量都低(图4)。X光照片显示,在若干层次中,沉积物纹层非常清晰,基本上没有生物扰动或掘穴的迹象。

位于最高堆积速率区以北约 30km 的 3 站, 长期沉积速率约为 $1\text{cm/a}^{[5,8]}$, 其大型底栖生物的密度比 4 站高 5 倍, 大型底栖动物钻入沉积物至少 30cm 深。生物扰动的优势种是豆形短眼蟹, 这种小蟹在沉积物表层 5cm 内建造了很多浅的洞穴, 这些洞穴一般都横贯表层沉积物的纹层。上层 30cm 的沉积物结构显示出, 在沉积过程中有以物理作用主导的间歇性, 它反映在未受扰动的纹层为生物扰动和穴斑层所截断。除短眼蟹外, 蛇尾类 *Amphiura* sp. 的幼体和多毛类的 *Mediomastus* 与 *Sternaspis* 在上层 10cm 内数量很大, 而穴居深层的多毛类 *Heteromastus* 则在 15cm 以下最丰富。

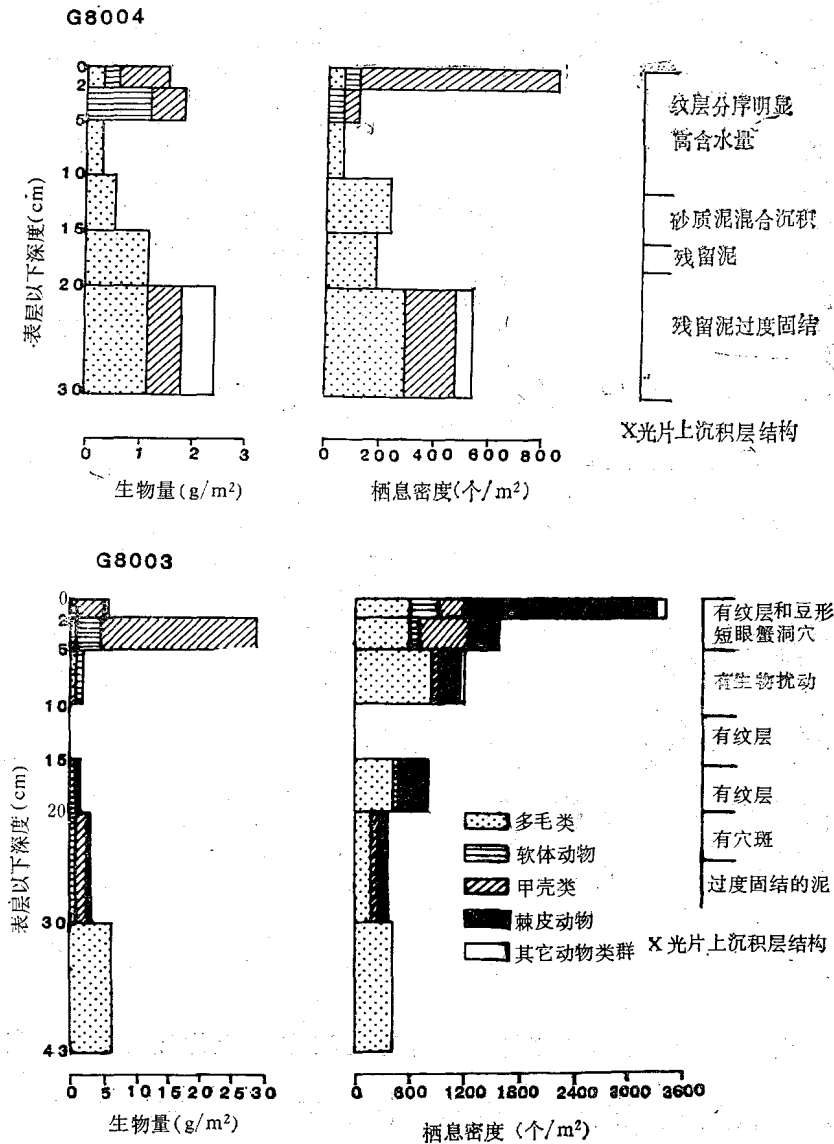


图 4 大型底栖生物量和栖息密度在柱样中的垂直分布与 X 光片上沉积层结构的比较

2 站的净堆积率极小, 但它仍然是受到长江细沉积物扩散影响的一个区域^[8]。这里底栖动物的密度和生物量均高, 表明它们在这些沉积物中的栖息是相当成功的。该站表

层 5cm 以下有大量的动物,沉积物受到高度的生物扰动(图 5)。在表层 10cm 内短眼蟹的密度很高 ($4600 \text{ 个}/\text{m}^2$), 导致穴斑的形成,从而消除了物理纹层的各种迹象,但在沉积物与水的界面处遗留一粪粒薄层。较深层单元都同样有穴斑,并有细的垂直洞穴(很可能是 *Heteromastus* 所造成),向下至少伸展到 24cm 层。在 10cm 以下较深层的沉积物中穴居的 *Amphiura* 主要是个体较大的种类。

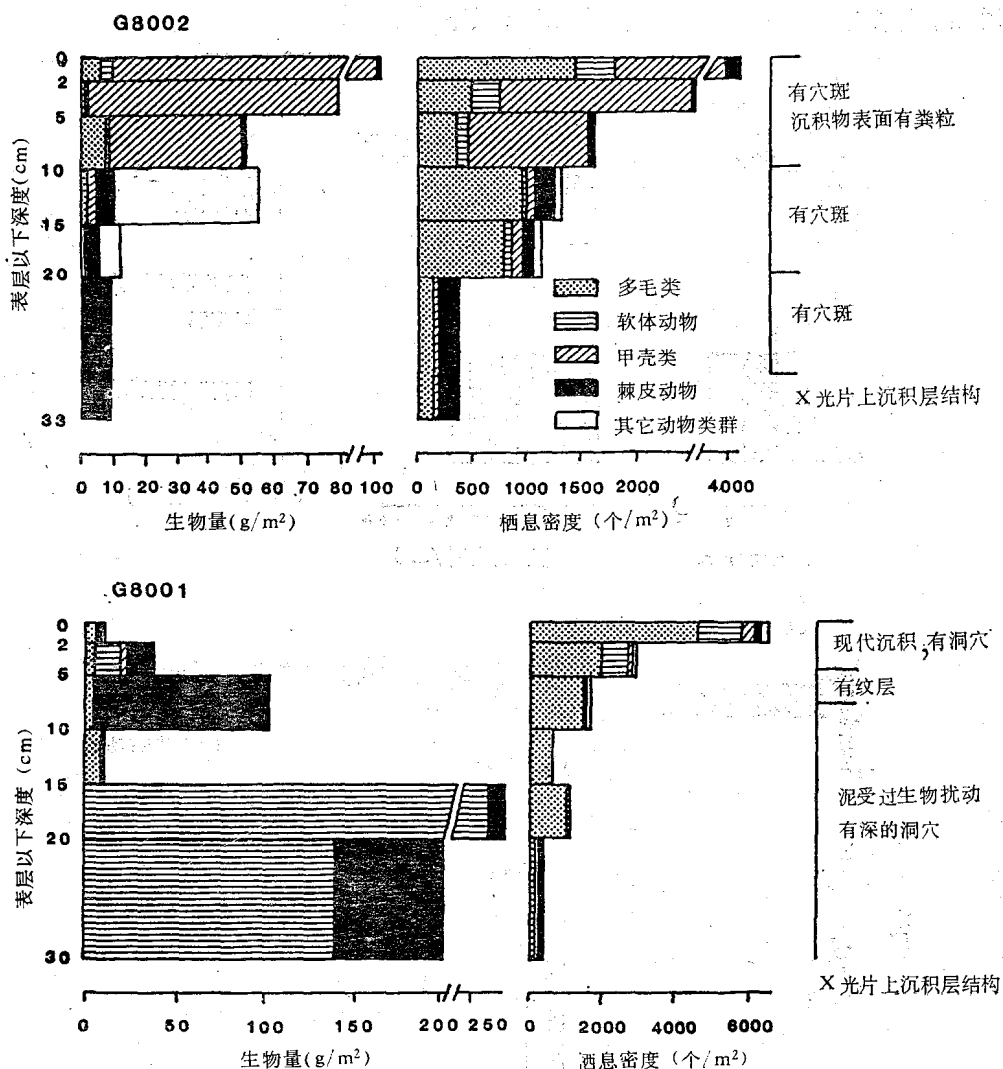


图 5 大型底栖生物量和栖息密度在柱样中的垂直分布与 X 光片上沉积层结构的比较

位于最高沉积作用带以北约 90km 的 1 站, 据铅²¹⁰剖面测定^[5,8], 其沉积物长期堆积率也很低。短眼蟹在这里很少出现, 表层沉积物中的优势种是大量的小形多毛类 (尤其是 *Mediomastus*, 缩头虫与双带虫) 和软体动物。X 光照片表明, 由现代沉积作用或再悬浮事件形成的物理纹层受到严重的生物扰动, 但在沉积物-水界面以下 4—7cm 之间的砂质较高的沉积物中仍保持明显的纹层。7cm 以下泥质较高的沉积物受到生物扰动, 生物洞穴

侵入到 30cm 左右的沉积层。直线形的垂直洞穴栖息着多毛类的 *Heteromastus* 和缩头虫, 螺旋形洞穴很可能是 *Amphiura* 造成。该站 *Amphiura* 的密度低于 2, 3 站, 但它们在 5—10cm 和 20—30cm 的层次中生物量较高, 反映了其个体较大。穴居深层的双壳类 *Cultellus* 和 *Solen* 在 15cm 以下的柱样中各有一个较大的个体, 因而提高了软体动物生物量的估计值。

在 4 站和 1 站之间断面上大型底栖动物对沉积作用梯度的反应概括于图 7 中。短眼蟹的丰度从 4 站向 2 站的最大值增高, 表明其最佳生态环境是沉积速率中等的三角洲沉积物。蛇尾类 *Amphiura* 在 3 站呈现明显峰值, 但这不真实。实际上, 在 3 站采到的 *Amphiura* 都是个体很小的幼体; 成体 *Amphiura* 的密度是向 1 站方向增大。一般来说, 大型底

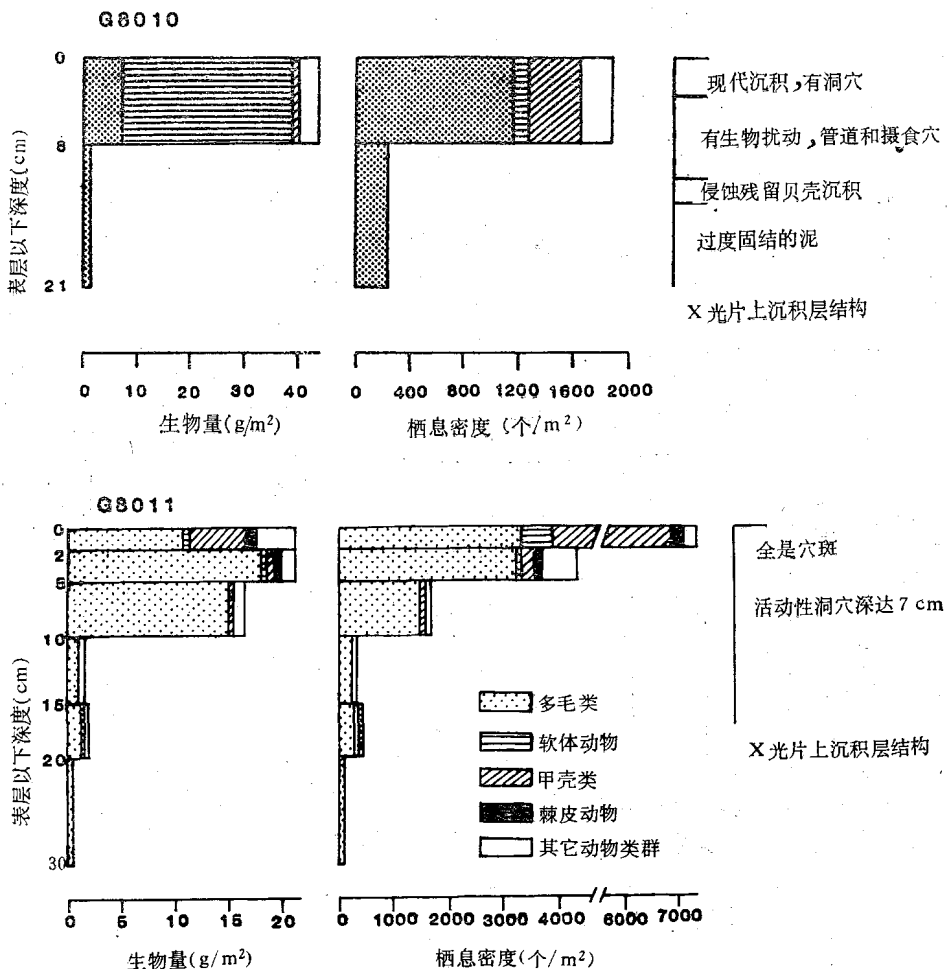


图 6 大型底栖生物量和栖息密度在柱样中的垂直分布与 X 光片上沉积层结构的比较

栖生物的密度和多样性是随沉积速率的递减而递增(对底栖生物来说,短期沉积速率比长期堆积速率更重要)。底栖生物的活动,包括导致沉积物的混合和生物洞穴及管道结构的形成,均随着沉积作用偶发事件频率的减少,而趋向于稳定的增高,在梯度上变得越来越明显。随着远离高沉积速率的三角洲环境,动物个体明显增大,由此推理,它们的生命周

期变长,其沉积生态环境垂直分隔的距离也变宽。

在最高沉积作用带以东区域,由于在地形上同古河道连在一起,其沉积过程复杂。10站表层沉积物是泥,以下是砂质泥,再往下是残留贝壳,15cm以下则为致密的泥层。底层泥坚实而过度的固结,说明其上面较厚的覆盖层已被侵蚀,侵蚀后的沉积物堆积速率为 $3.1\text{cm/a}^{[8]}$ 。栖息密度中等高的小形多毛类栖息于近表层沉积物内,并消除了沉积物中一部分物理纹层;但砂质泥层的沉积物受到高度的生物扰动,并具有生物管洞和摄食穴,表明这里的生物个体较大,沉积速率较低。

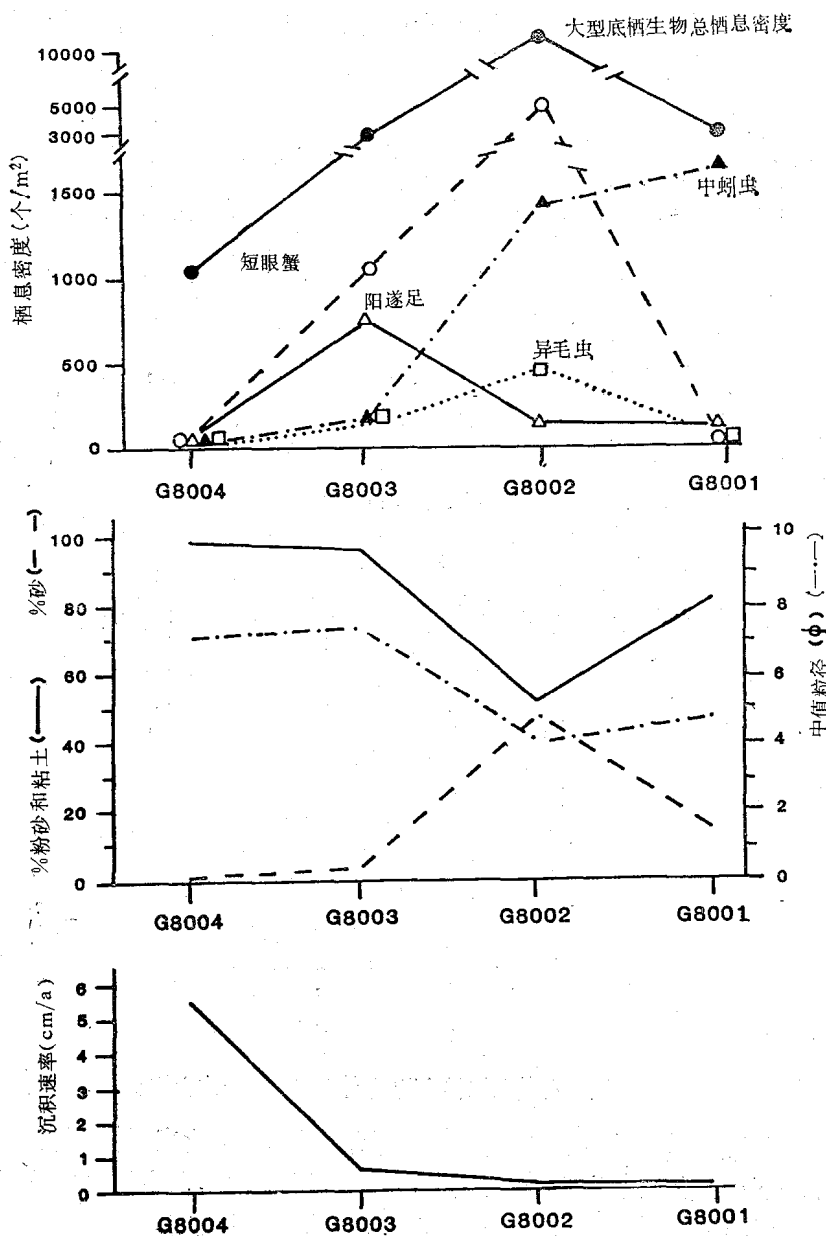


图7 大型底栖生物和沉积物性质自沉积速率高的4站至沉积速率低的1站的变化

11 站的沉积物是完全受到生物扰动的泥质砂,其表观堆积率低于 $0.5\text{cm/a}^{[8]}$, 大型底栖生物十分密集,多数局限于表层 10cm 的沉积物中。X 光照片表明,活跃的掘穴活动深达 7cm 层(图 6)。营表层沉积食性的管栖多毛类和端足类大量聚集在表层 2cm 的沉积物中。穴居的浅层多毛类则在下一层占优势。与此站十分相似的情况也见于其西北面的 9 站。

四、底栖生物对河流输出物质反应的模式

大型河流输出物质的溶解性和颗粒性组分对接纳它们的大陆架水体的生态系产生深刻的影响。长江口外的底栖生物对大量流入东海的沉积物和溶解性营养物质作出的反应概括于图 8 示出的简单模式。从根本上说,最主要的效应是由于活动的水下三角洲的大量沉积。然而,具有较大生态学意义的是短期沉积速率而不是长期堆积速率,在象东海这样有强潮流以及涡旋所形成的另一种再悬浮现象的海区尤其如此。Nittrouer 等人^[8]指出,这种沉积率可能比堆积率高一个数量级(据铅²¹⁰对近 100 年左右的测年数据)。沉积和侵蚀的交替出现使生命期长的管栖种类和深层穴居的种类难以生存,却有利于生命期短的机遇性种类的生存,而这样的种群则有周期性地被消灭的情况。因此,除了可能在短暂的平静期间形成,而后再被沉积保留下来的临时性的浅层洞穴外,底栖生物对沉积作用过程的影响极小^[7]。

在这些细颗粒的三角洲前沉积区,尽管有机碳水平高,但有机物质对微生物的矿化作用具有相当的耐抗能力。因此,在沉积物的下沉方向上物质通量很大,然而只有适量的营养物质从海底更新^[2]。

随着悬浮性沉积物的沉淀和混合对其浓度的稀释,光合作用的光限度被降低,同时河流带来大量溶解性营养盐类,这样就使初级生产力出现很高的增长速率。就此而言,河流在其入海的漫长的浊流过程中,在矿化重要营养物质方面起了非常有效的作用。实际上,流经工农业发达地区的河流,包括长江在内,其硝酸盐含量很可能比历史水平高一个数量级^[11]。在“绿水”地带,营养物质固定成颗粒有机碳(POC)。固然该地带的渔业产量高,但大部分有机碳并没有被摄食,而是沉积在海底^[11]。反应性的生物悬浮物在到达海底的物质组成中占较大比例,而在无沉积物净堆积率的海区,它实际上成了唯一沉淀下来的颗粒物。

短期沉积速率减低并有较高饵料质量的沉积物质,可以使那些生活习性需要较大沉积稳定性的底栖生物种群获得较大密度的发展。生物扰动和洞穴、管道以及摄食行为的影响能逐渐地消除地层记录中的物理纹层。生物的摄食方式多种多样,有表层和亚表层沉积食性动物,也有深层穴居动物。由于在沉积物-水界面处,生物悬浮物在颗粒物通量中占优势,因而有很少量的有机物会被掩埋,底栖生物种群会再集中在沉积物-水界面处摄食,它们专门捕食界面处和界面以下新沉下的有机物质。随着河流影响的减弱,处在贫营养的外陆架区的底栖动物种群变得稀少,而且主要局限于近表层沉积物中。

在富营养的“绿水”带及其周围水域,沉到海底的有机物质反应性高,生物活动强烈,因而使营养物质能大量的更新。由此导致高通量的硅返回水体之中;不过,沉积物内氨的产量虽然明显地高,但返回水体的氨通量并不大^[2],这可能是因为沉积物中的微生物有效

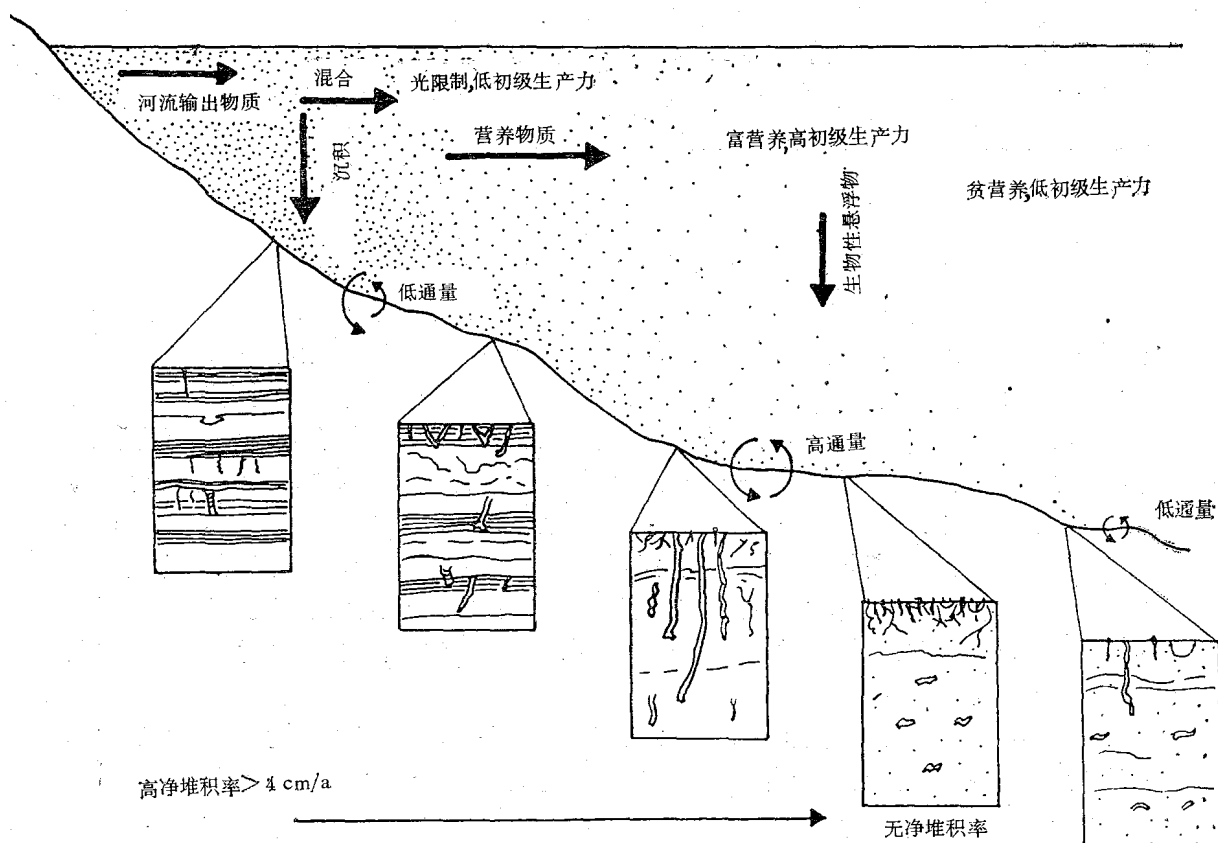


图 8 底栖生物对大河流出物质反应的一般模式图

地摄取了含氮废水的缘故。

参 考 文 献

- [1] 刘瑞玉、徐凤山, 1963. 黄东海底栖动物区系的特点. 海洋与湖沼 5(4): 306—326.
- [2] Aller, R. C. et al., 1983. Early chemical diagenesis and sediment-water solute exchange in the East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with special reference to the East China Sea. China Ocean Press, Beijing, pp. 701—717.
- [3] Clifford, H. T. and W. Stephenson, 1975. An introduction to numerical classification. Academic Press, 229 pp.
- [4] Chin Yun-Shan, 1979. A study on sediment and mineral compositions of the sea floor of the East China Sea. *Oceanic Selections* 2(2): 130—142.
- [5] DeMaster, D. J., B. A. McKee, C. A. Nittrouer, Qian Jiangchu and Cheng Guodong, 1983. Rates of sedimentary processes based on radiochemical profiles from continental shelf deposits in the East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with special reference to the East China Sea. China Ocean Press, Beijing, pp. 538—546.
- [6] Gauch, H. G., 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge Univ. Press, 248 pp.
- [7] Moore, D. G. and P. C. Scruton, 1957. Minor internal structure of some recent unconsolidated sediments. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 41: 2723—2751.
- [8] Nittrouer, C. A., D. J. DeMaster, B. A. McKee, Cheng Guodong and Qian Jiangchu, 1983. Formation of sedimentary strata in the East China Sea. Proceedings of International Symposium

- on Sedimentation on the Continental Shelf with special reference to the East China Sea. China Ocean Press, Beijing, pp. 624—632.
- [9] Rhoads, D. C. 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. *Oceanog. Mar. Biol. Annual Rev.* 12: 263—300.
- [10] Thorson, G., 1957. Bottom communities (sublittoral or shallow shelf). *Geol. Soc. Am. Memoir* 67: 461—534.
- [11] Walsh, J. J., G. T. Rowe, R. L. Iverson and C. P. McRoy, 1981. Biological export of shelf carbon is a sink of the global CO₂ cycle. *Nature* 291: 198—201.

MACROBENTHOS AND BIOGENIC STRUCTURES IN SEDIMENTS OF THE EAST CHINA SEA CONTINENTAL SHELF*

D. F. Boesch

(Louisiana Universities Marine Consortium, USA)

Tang Zhican, Xu Fengshan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

K. J. Nilsen

(Virginia Institute of Marine Science, USA)

Abstract

This article presents results from the joint China-US investigations of the sediment dynamics of the East China Sea conducted during 1980 and 1981. Generalized distribution patterns of benthos are briefly described, however particular emphasis is placed on observations of the vertical distribution of macrobenthos in the sediment column and deductions on the role of benthic organisms in sedimentary processes.

* Contribution No. 1255 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.