

冲绳海槽末次盛冰期孢粉组合的古环境指示意义

邓 韞^{1,2}, 郑 卓¹, Suc J. P.², Berne S.³

1. 中山大学地球科学系, 广东广州 510275
2. 法国里昂第一大学古生物圈与古环境实验室, 里昂 69622
3. 法国海洋开发研究所, 布卢赞 29280

摘要: 冲绳海槽西陆坡末次冰期的高沉积速率为高分辨率研究提供了良好的材料, DGKS-9602 钻孔通过氧同位素年代对比, 总长 931 cm 的岩心保存了相当于氧同位素阶段 1~3 的沉积记录。孢粉分析的结果表明, OIS 1 和 OIS 3 阶段松属花粉含量占优势, 平均含量达 65% 以上, 而 OIS 2 阶段松属百分含量明显降低, 草本植物花粉含量增加, 超过 50%。松属与蒿属等草本花粉间的相互消长指示了海平面的升降, 并与氧同位素曲线的变化趋势相似。末次盛冰期中国东部大陆架覆盖的植被以草地为主, 由于冲绳海槽在末次盛冰期时的绝大部分沉积物质与大陆架的剥蚀作用有关, 来自长江中上游山地较远距离带来的物质和山地花粉相对减少。与中国东部尘土花粉结果对比发现, 现代东海表层蒿属与禾本科比值(A/P)所指示的纬度正好与长江中下游平均纬度相当, 而冲绳海槽末次盛冰期的 A/P 比值所指示的陆地环境比现代高 7 个纬度, 证明末次盛冰期植被带南移, 与前人陆地记录的结果相吻合。

关键词: 冲绳海槽; 孢粉分析; 末次盛冰期; 古环境。

中图分类号: P53

文章编号: 1000-2383(2005)05-0597-07

收稿日期: 2005-06-30

Pollen Assemblages of the Last Glacial Maximum in Okinawa Trough and Their Implication on Paleoenvironment

DENG Yun^{1,2}, ZHENG Zhuo¹, Suc J. P.², Berne S.³

1. Department of Earth Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China
2. Laboratoire Paléoenvironnements et Paléobiosphère, Université Claude Bernard-Lyon, Villeurbanne 69622, France
3. IFREMER, Plouzane 29280, France

Abstract: The high rate sedimentation in the west Okinawa Trough provides good materials for high resolution study on palaeoenvironment evolution. In comparing with SPECMAP curve, the core DGKS-9602 was dated OIS 3 to OIS 1 for a total length of 931 cm. Pollen analysis shows that *Pinus* was predominated during the OIS 1 and OIS 3 with an average percentage 65%, but it decreased at OIS 2, giving place to the herbs which attained more than 50% in average. This result suggests that the alternation of *Pinus*/herbs indicates the sea level changes and its variation is comparable with oxygen isotopic curve. The vegetation covered on the continental shelf during the LGM was mainly grassland. Most of sediment origin of the study core might be resulted from the erosion of the continental shelf of the East China Sea, that was characterized by the decrease of components from upriver and mountains in the pollen assemblages. In the light of dust pollen distribution pattern in eastern China, the ratio of *Artemisia*/Poaceae from the surface samples of the East China Sea can be evaluated to the corresponding latitude in the continent that coincided with middle and lower reach of Changjiang River. Whereas, the ratio obtained from the LGM in the core 9602 has an estimative result of 7 latitudes higher than the surface data, which indicates that the vegetation zones shifted southwards with amplitude comparable with previous studies.

Key words: Okinawa Trough; pollen analysis; last glacial maximum; paleoenvironment.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(No. NSFC40331011).

作者简介: 邓韞(1979-), 女, 博士研究生, 主要从事海洋孢粉研究及气候定量研究. E-mail: pollen0883@hotmail.com

冲绳海槽位于东海陆架边缘,是东海第四纪保持连续海相沉积记录的唯一地区,对研究第四纪时期的海陆变迁和环境演化十分重要.1996 年在中、法科学家的合作下,利用法国 L'ATALANTE 号海洋调查船在冲绳海槽获取了多个钻孔柱状样岩心,为本地区高分辨率分析古海洋和古气候创造了条件(刘振夏等,2000; Vagner, 2001),其中 DGKS-9602 孔根据氧同位素结果获取的沉积物年龄表明,该岩心的沉积年代相当于氧同位素 1~3 阶段.本次孢粉研究详细研究了该钻孔氧同位素阶段 2 的古环境,对恢复这一地区末次盛冰期的海陆环境提供了新的资料.另外,普遍认为东海大陆架末次冰期时最重要的古地理变化是大片的陆架区出露成陆,而在低海面时期长江可能流经东海陆架注入冲绳海槽,也有学者认为古长江可能经黄海济州岛附近流入日本海(李绍全等,2002).本次研究的孢粉分析结果有助于理解末次盛冰期低海面造成东海大陆架出露时相应的陆地植被生态环境以及冲绳海槽当时的花粉来源.

1 材料与方法

东海 DGKS-9602 钻孔位于北纬 $28^{\circ}07.491'$,

东经 $127^{\circ}22.138'$ (图 1),水深 988 m,岩心总长 931 cm.利用浮游有孔虫 *Globigerinoides ruber* 得到的该钻孔的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线(Vagner, 2001)与 SPEC-MAP 氧同位素曲线(Martinson *et al.*, 1987)对比具有很好的对应性.结合该钻孔的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线可将该钻孔 1.5~937 cm 的岩心记录分成 5 个阶段,分别对应于 SPECMAP 的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线的前 3 个阶段:0~48 cm 为 OIS 1(0~12 ka)、48~270 cm 为 OIS 2(12~24.1 ka)、270~930 cm 为 OIS 3(24.1~50 ka)(图 2).由此估算,钻孔 DGKS-9602 晚更新世末次冰期的平均沉积速率较高,达到 15.9 cm/ka,而全新世的平均沉积速率较低,仅为 5 cm/ka.邻近钻孔 DGKS-9603($28^{\circ}08.869'\text{N}$, $127^{\circ}16.238'\text{E}$,水深 1 100 m)也得出类似的结果,41 ka 以来的平均沉积速率约为 11.16 cm/ka(李培英等,1999).可见,冲绳海槽西陆坡的高沉积速率,尤其是末次冰期的高沉积速率为高分辨率研究提供了良好的材料.

DGKS-9602 钻孔按平均大约 10 cm 的间距共取孢粉样品 89 个.孢粉样品的处理先用 15% 的盐酸溶液去掉沉积物中的钙质,再用氢氟酸溶解掉沉积物中的硅质,最后用 2.0 g/cm^3 的重液浮选出沉积物中的花粉并用超声波过筛,去掉杂质后制成薄

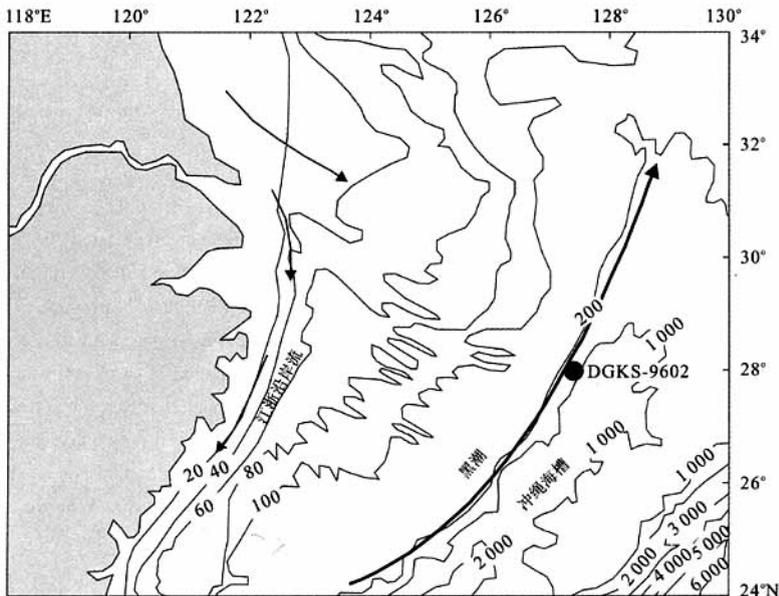


图 1 钻孔 DGKS-9602 的位置

Fig. 1 Location of the core DGKS-9602

箭头指示了东海的主要潮流(Milliman *et al.*, 1989);图中等值线的单位为 m

片。所有的样品在显微镜下鉴定；并统计陆生植物花粉至少达 200 粒。百分比计算是以所有陆生植物花粉的总量为基数。

2 孢粉分析结果

DGKS-9602 钻孔孢粉样品中共鉴定出 102 个孢粉种属，其中包括 65 种木本植物花粉、13 种草本植物花粉和 24 种蕨类孢子与藻类。最常见的花粉类型是针叶类松属 (*Pinus*)、铁杉属 (*Tsuga*)、冷杉属 (*Abies*)、杉属 (*Taxodium*)、云杉属 (*Picea*)、罗汉松属 (*Podocarpus*) 等。被子植物花粉主要有落叶类栎属 (*Quercus deciduous*)、栗属 (*Castanea*)、鹅耳枥属 (*Carpinus*)、桤木属 (*Alnus*)、桦木属 (*Betula*)、山毛榉属 (*Fagus*)、金缕梅科 (*Hamamelidaceae*)、山茶科 (*Theaceae*) 和桑科 (*Moraceae*) 等。草本花粉以蒿属 (*Artemisia*) 为优势，其他含量较高的草本有莎草科 (*Cyperaceae*)、禾本科 (*Poaceae*) 和藜科 (*Chenopodiaceae*) 等。

木本植物、草本植物和蕨类 3 大类孢粉的相对百分含量反映出与氧同位素一致的变化趋势(图 2)。总体上看，整个剖面上木本植物花粉占很大优势，平均值高达 60%；其次是蕨类孢子，含量为 20% 左右；草本植物花粉总体的平均百分含量较低，但在末次盛冰期(48~270 cm)含量剧增，并与木本植物花粉(尤

其是松属花粉)含量呈互相消长关系(图 3)。

OIS 3 阶段 (>530 cm) 松属花粉含量高，为 65%~75% 左右。4 种草本植物花粉的含量均很低，平均约为 0.5%~2%。在本阶段末期，从 340 cm 处开始，禾本科的含量有所增加，莎草科略晚一些，大约从 330 cm 开始。

与 OIS 2 阶段相对应的末次盛冰期(48~270 cm)，松属花粉明显降低(平均 20% 左右)，草本植物花粉含量超过 50%，最高达 60% 左右，仅蒿属花粉的含量就可达 35%。莎草科、禾本科的含量大致相同，约为 9%。藜科花粉也增加到 5% 左右，其他草本如菊科、石竹科以及水生草本香蒲属等也有一定的增加。这一阶段草本植物虽然占优势，其他伴随的木本植物花粉尚有一定含量，尤其是暖温带植物组分如栎属、栗属、鹅耳枥属、桤木属、柏科、山矾科、杉科、冷杉等。

全新世本区沉积速率较低(约 5 cm/ka)，花粉谱中松属增加至 60% 左右，草本植物花粉含量明显降低，蒿属花粉含量降低至 10% 左右，莎草科和禾本科的含量降为至 3% 左右，藜科花粉含量约为 1%。

3 末次盛冰期孢粉组合的古环境指示意义

冲绳海槽 DGKS-9602 钻孔孢粉分析的结果

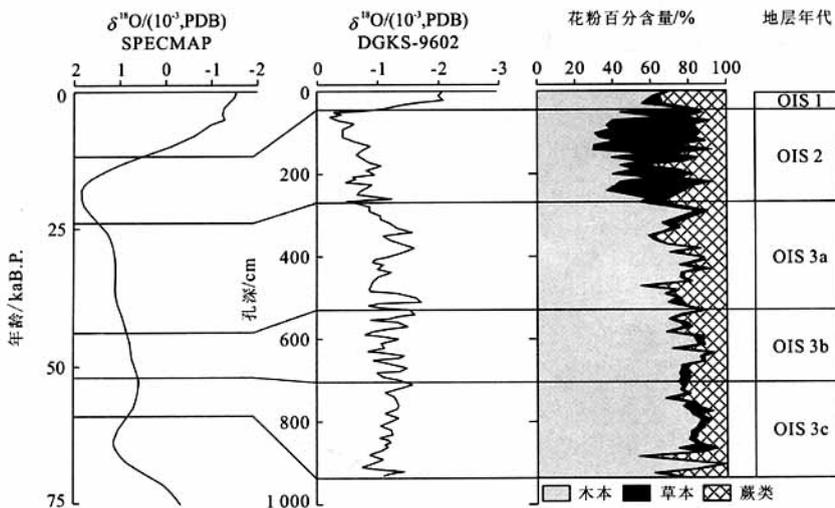


图 2 根据氧同位素曲线和孢粉百分比图式与 SPECMAP 氧同位素曲线对比确定的钻孔年代

Fig. 2 Chronology model for core DGKS-9602 based on $\delta^{18}O$ analysis pollen analysis the compare with the oxygen isotope curve of SPECMAP

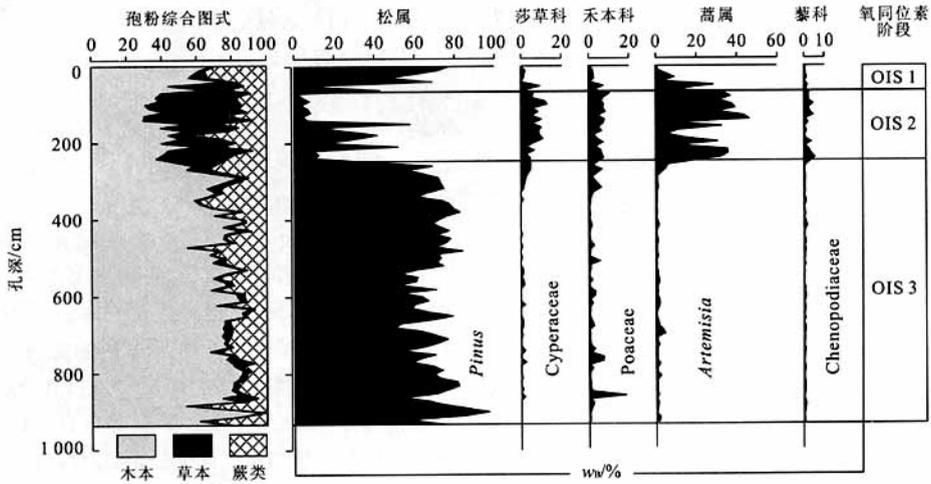


图 3 松属花粉和几种主要草本植物的花粉图式
Fig. 3 Pollen diagram of *Pinus* and several herbaceous taxa

清楚地揭示了末次盛冰期草本植物类群明显增长的趋势,过去在陆地上的第四纪研究往往将草本增加归因于区域植被因气温下降和干燥度增加导致森林向草原过渡的生态环境,因此,如果东海 DGKS-9602 钻孔主要沉积物质来源于长江流域,那么草本植物花粉达到 60% 以上的孢粉组合是否反映了长江中下游流域在末次盛冰期可能存在森林草原替代暖温带阔叶混交林的生态景观? 根据东海 DGKS-9602 钻孔末次盛冰期 (OIS 2) 的孢粉组成以及古海洋和现代沉积和生态对比,形成如下认识。

3.1 松属与草本花粉含量相对变化对海平面的指示意义

为了充分了解孢粉对古环境的指示意义,有必要了解现代海洋表层沉积物中孢粉的分布规律. 对东海大陆架表层沉积物中孢粉分析的结果(王开发等,1987)表明,木本花粉普遍占优势,一般为70%~90%,其中尤以松属含量最高,其他木本花粉主要有栎属、栗属、柏科等. 草本花粉一般为20%左右,以禾本科、蒿属、藜科为主. 蒿属花粉在东海陆架表层绝大部分区域小于10%,个别样品达到20%左右. 草本植物花粉如蒿属、藜科、禾本科等的花粉为球形,在水体中的沉降速度相对较快,因此蒿属花粉及其他草本植物花粉含量向冲绳海槽方向急剧减少,说明现代沉积过程中蒿属等草本花粉在大陆架以陆源物质为主的沉积物中含量相对高,往深海海槽区含量显著降低. 相反,由于松属花粉具有气囊,在气体和水体中的浮力大,在空气和水体中的沉降速度

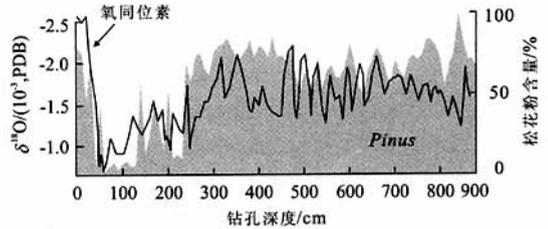


图 4 冲绳海槽 DGKS-9602 孔松属花粉含量与氧同位素曲线对比(灰色区域为松属花粉含量;曲线为氧同位素值)
Fig. 4 Comparison between the percentage of *Pinus* and the oxygen isotopic curve of DGKS-9602

慢,漂流距离远,因此沉积物中松属花粉在深海区相对含量较高. 草本植物离岸距离近时含量相对较高,松属花粉离岸距离远时含量相对较高,这一事实证明了松属与草本花粉相对含量的变化主要是由海洋沉积分异作用所致,与海岸带距离和海水深度关系密切,而与陆地上气候影响下的地带性植被变化关系较弱。

前人(Sun *et al.*, 2003)在南海的研究证实了松属和草本植物两大类花粉在海区沉积物中含量的相对变化,它们的变化可以反映钻孔离岸远近的变化即相对海平面升降. 冲绳海槽 DGKS-9602 钻孔的孢粉分析也得到类似的现象,钻孔中松属花粉的相对含量变化与氧同位素曲线的变化趋势一致(图 4),末次盛冰期低海面时期 DGKS-9602 钻孔位置距离岸线十分接近,松属花粉含量较低,草本植

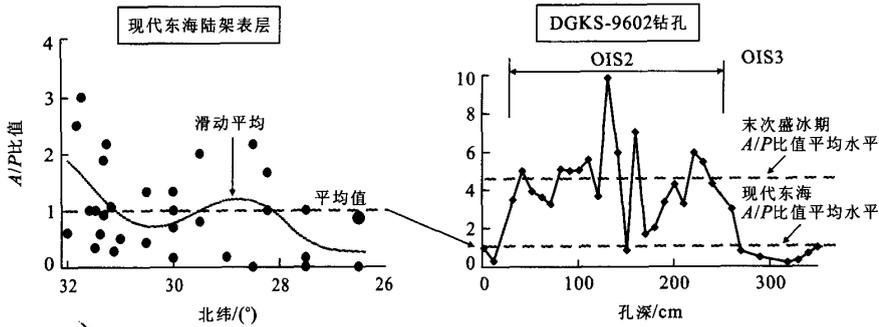


图 5 现代东海表层沉积及冲绳海槽 DGKS-9602 孔末次盛冰期 *Artemisia/Poaceae* (A/P) 比值的对比

Fig. 5 Comparison of the ratio value of *Artemisia/Poaceae* (A/P) in the modern surface sediments of the East China Sea and that in the core DGKS-9602 during the LGM

物花粉含量较高;而全新世及末次亚间冰期时钻孔离岸达数百公里,松花粉含量相对较高。因此,冲绳海槽中松属花粉与草本花粉的相对含量变化实际上代表了钻孔离岸距离远近的变化,而对气候冷暖的指示意义相对较弱。

3.2 末次盛冰期长江中下游地区及陆架的古植被状况

据现代东海陆架表层沉积物的孢粉结果(王开发等,1987)发现,尽管现代离岸距离很近的滨海区,草本花粉的含量也不超过 25%,然而在冲绳海槽钻孔中末次盛冰期的草本含量高达 60%左右,这一高含量在东海现代沉积物中根本找不到可供对比的参照物。利用中国第四纪花粉数据及生物群区法重建的 18 000 a 的古植被图(孙湘君等,1999a)也显示在末次盛冰期草原植被并没有扩大到中国东部长江中下游地区。因此,钻孔中的草本花粉可能并非直接来自于长江中下游地区,草本植物的大量增加也与干冷气候条件下温带草原南移并无直接联系。近年来深海钻孔孢粉研究结果表明,末次盛冰期低海面草本植物花粉的增加无论在东海还是在黄海和南海都有类似的现象。

要合理解释这一现象必须首先恢复末次盛冰期的古海洋面貌,末次盛冰期东海海平面下降超过 120 m(秦蕴珊等,1987),海岸线距现代长江出海口超过 500 km,东海大陆架广泛出露,地表以粉砂质沉积物为主,这为蒿属等草本植物的生长提供了很好的条件。因此在末次盛冰期,与南海北部大陆架(Sun and Li, 1999;孙湘君等,1999b;孙湘君和罗运利,2001)一样,在广阔裸露的东海陆架上主要覆盖着大量以蒿属为主的草本植物,而冲绳海槽的沉积

物则主要来自大陆架的剥蚀。与草本花粉同时出现的温带阔叶植物花粉和针叶类植物花粉,显示了在长江中下游地区植被以针叶-落叶阔叶混交林为主。另一方面,生长于长江中上游海拔 2000 多米以上山区的植物(如冷杉等)花粉含量的减少,说明了末次盛冰期的干旱气候以及上游冰川的发育导致长江的流量减小,冲绳海槽中来自长江中下游地区的大陆沉积物减少。

3.3 蒿属与禾本科的含量变化对古植被纬度带迁移的指示意义

中国东部地区尘土花粉分析结果显示,优势草本植物蒿属和禾本科由北向南有规律地变化,蒿属由北温带向热带逐渐递减,而禾本科由北向南递增,*Artemisia/Poaceae*(A/P)比值在大陆尺度上由南向北呈指数递增,与纬度的关系式如下(郑卓等,待刊)。

$$\text{Latitude} = 3.7568 \ln(A/P) + 32.185. \quad (1)$$

东海表层沉积物 A/P 比值的结果(图 5)证明,由南向北 A/P 比值逐渐升高,在北纬 27°~31°之间该比值的平均值约为 0.8,代入(1)式计算,相应纬度为 31.3°N。这一结果正好与长江中下游的平均纬度十分吻合。也就是说,东海北纬 31°以南现代沉积物的主要物源来自于长江。冲绳海槽末次盛冰期记录的 A/P 比值平均值达到 4.5~5,远远高于现代东海陆架的表层沉积。按 A/P 比值平均为 4.8 计算的结果为北纬 38.07°,这一结果表明,末次盛冰期 A/P 比值记录的陆地环境比现代的偏北 7 个纬度,证明了末次盛冰期全球气候变冷导致陆地上植被带南移。东亚地区陆地记录的气候变化和冻土(Zheng et al., 1998)分布界限南移的研究也有相似的结果。东海陆架晚第四纪沉积物的物源化学示踪(李双

林等, 2002) 所显示的末次盛冰期古长江搬运沉积物中有类似现今黄河沉积物的干旱组分的明显增加, 也说明了该时期中国东部气候带的南移。

4 结论

冲绳海槽 DGKS-9602 钻孔的研究发现, 末次盛冰期(OIS 2 阶段)低海面时期冲绳海槽沉积速率较大, 沉积物质主要来自大陆架的剥蚀以及长江中下游地区。钻孔孢粉分析的结果显示, 末次盛冰期低海面时, 钻孔离岸距离较近, 花粉谱中松属百分含量较低, 草本植物花粉含量较高; 而海面升高时, 钻孔离岸距离较远, 花粉组合中松属含量较高; 草本植物花粉含量较低。松属花粉的相对含量变化曲线与氧同位素曲线的变化趋势基本一致。因此, 松属和草本植物两大类花粉在海槽沉积物中含量的相对变化可以反映钻孔位置离岸远近的变化, 即相对海平面变化。

末次盛冰期海槽沉积物中大量以蒿属为主的草本植物花粉反映了当时在东海广泛裸露的大陆架上主要覆盖着以蒿属为主的草本植物, 而长江中下游地区的植被以针叶—落叶阔叶混交林为主。长江中上游地区的山地针叶林组分(如冷杉等)由于长江流量减小, 在沉积物中含量也相对减少。

冲绳海槽末次盛冰期的 *Artemisia*/Poaceae (A/P) 比值平均为 4.5~5, 远远高于现代东海陆架的表层沉积。根据中国东部地区尘土花粉指标可计算为北纬 38.07°, 证明了末次盛冰期冲绳海槽中 A/P 比值记录的陆地环境比现代的高 7 个纬度, 表明末次盛冰期植被带南移 7 个纬度, 这一结果与陆地记录的气候变化所引起的南移幅度吻合。

References

- Li, P. Y., Wang, Y. J., Liu, Z. X., 1999. Chronology and sedimentation rate of the Okinawa Trough. *Science in China (Series D)*, 29(1): 50-55 (in Chinese).
- Li, S. L., Li, S. Q., Meng, X. J., 2002. Chemical composition and source tracing of Late Quaternary sediments in the East China Sea shelf. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 22(4): 21-28 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Q., Li, S. L., Chen, Z. X., et al., 2002. Deltaic sedimentary sequences developed during last glacial maximum in the EA01 core on the outer shelf of the East China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 22(3): 19-26 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. X., Li, P. Y., Li, T. G., et al., 2000. The paleoclimate of the Okinawa Trough since 50 000 years B. P.. *Chinese Science Bulletin*, 45(16): 1776-1781 (in Chinese).
- Martinson, D., Pisias, N., Hays, J., et al., 1987. Age dating and orbital theory of the ice ages; Development of a high resolution 0-300 000 years chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27: 1-29.
- Milliman, J. D., Qin, Y. S., Park, Y. A., 1989. Sediments and sedimentary processes in the Yellow and East China Seas. In: Taira, A., Masuda, F., eds., *Sedimentary facies in the active plate margin*. Terrapub, Tokyo, 233-249.
- Qin, Y. S., Zhao, Y. Y., Chen, L. R., et al., 1987. Geology of the East China Sea. Science Press, Beijing, 1-290 (in Chinese).
- Sun, X. J., Song, C. Q., Chen, X. D., 1999a. "China Quaternary pollen database" (CPD) and "Biome 6000" project. *Advance in Earth Sciences*, 14(4): 407-411 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. J., Chen, X. D., Luo, Y. L., 1999b. An insight into paleovegetation on the emerged shelf at the last glaciation: Pollen data of the South China Sea. *Acta Botanica Sinica*, 41(9): 1016-1023 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. J., Li, X., 1999. A pollen record of the last 37 ka in deep sea core 17940 from the northern slope of the South China Sea. *Marine Geology*, 156: 227-244.
- Sun, X. J., Luo, Y. L., 2001. Pollen record of the last 280 ka from deep sea sediments of the northern South China Sea. *Science in China (Series D)*, 44: 879-888 (in Chinese).
- Sun, X. J., Luo, Y. L., Huang, F., et al., 2003. Deep-sea pollen from the South China Sea: Pleistocene indicators of East Asian monsoon. *Marine Geology*, 201: 97-118.
- Vagner, P., 2001. Séquences de dépôt du Quaternaire supérieur et variations climatiques en Mer de Chine de l'Est. [Dissertation] Université de Lille 1, Lille, 1-247.
- Wang, K. F., Sun, Y. H., Zhang, Y. L., et al., 1987. The spore-pollen and algal assemblages in the sediment of the East China Sea. China Ocean Press, Beijing, 1-139 (in Chinese).
- Zheng, Z., Cour, P., Huang, C. X., et al., Dust pollen distribution pattern on a continental scale along geographical section of eastern China and its relation with present

vegetation(in press) (in Chinese).

Zheng, Z., Yuan, B. Y., Petit-Maire, N., 1998. Paleoenvironments in China during the last glacial maximum and the Holocene optimum. *Episodes*, 21(3):152-158.

附中文参考文献

李培英,王永吉,刘振夏,1999. 冲绳海槽年代地层与沉积速率. *中国科学(D辑)*, 29(1): 50-55.
李双林,李绍全,孟祥君,2002. 东海陆架晚第四纪沉积物化学成分及物源示踪. *海洋地质与第四纪地质*, 22(4): 21-28.
李绍全,李双林,陈正新,等,2002. 东海外陆架 EA01 孔末次冰期最盛期的三角洲沉积. *海洋地质与第四纪地质*, 22(3): 19-26.
刘振夏,李培英,李铁钢,等,2000. 冲绳海槽 5 万年以来的古

气候事件. *科学通报*, 45(16): 1776-1781.

秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉,等,1987. 东海地质. 北京:科学出版社,1-290.
孙湘君,宋长青,陈旭东,1999a. 中国第四纪孢粉数据库(CPD)和生物群区(Biome 6000). *地球科学进展*, 14(4): 407-411.
孙湘君,陈旭东,罗运利,等,1999b. 末次冰盛期低海面时海南北陆架上的植被. *植物学报*, 41(9): 1016-1023.
孙湘君,罗运利,2001. 南海北部 280 ka 以来深海花粉记录. *中国科学(D辑)*, 17(2): 846-853.
王开发,孙煜华,张玉兰,等,1987. 东海沉积孢粉藻类组合. 北京:海洋出版社,1-139.
郑卓, Cour, P., 黄赐璇,等. 中国东部纵向大陆尺度尘土花粉散布规律与现状植被的关系(待刊).

(上接 564 页)

Molfinio, B., McIntyre, A., 1990. Precessional forcing of nutrient dynamics in the Equatorial Atlantic. *Science*, 249:766-769.
Paull, C. K., Thierstein, H. R., 1987. Stable isotopic fraction among particles in Quaternary coccolith-sized deep-sea sediments. *Paleoceanography*, 2(4):423-429.
Steinmetz, J. C., Anderson, T. F., 1984. The significance of isotopic and paleontologic results on Quaternary calcareous nannofossil assemblages from Caribbean core P6304-4. *Mar. Micropaleontol.*, 8:403-42.
Steinmetz, J. C., 1994. Stable isotopes in modern coccolithophores. In: Winter, A., Siesser, W. G., eds., *Coccolith-*

ophores. Cambridge University Press, London, 219-229.
Stoll, H., Ziveri, P., 2002. Separation of monospecific and restricted coccolith assemblages from sediments using differential settling velocity. *Mar. Micropaleontol.*, 46:209-221.
Ziveri, P., Stoll, H., Probert, I., et al., 2000. Is stable isotope composition of coccolith carbonate an effective palaeoceanographic proxy? *J. Nanoplankton Res.*, 22(2):156-157.
Ziveri, P., Stoll, H., 2002. Coccolith calcite chemistry in palaeoceanography. *J. Nanoplankton Res.*, 24(2):183.