

郑州邙山桃花峪高分辨率晚更新世黄土地层

蒋复初 吴锡浩 肖华国

(中国地质科学院地质力学研究所)

王苏民 薛 滨

(中国科学院南京地理与湖泊研究所)

摘 要 风成邙山黄土分布于河南郑州西北黄河南岸。黄土序列较完整,初步研究了桃花峪剖面 S_5 以上黄土地层, S_6 、 L_1 、 S_1 、 L_2 和 S_2 分别厚 0.6m、70.8m、9.9m、12.4m 和 1.0m。特别有意义的是晚更新世马兰黄土厚度巨大,分辨率高。以 10cm 间距对邙山桃花峪剖面进行了磁化率测量,并与海洋氧同位素时间序列进行对比,按 Kukla 等的磁化率年龄模式,获得相应的年代时间标尺。对末次冰期黄土以 40cm 间距进行了粒度分析,不同冰期或冰阶的平均沉积速率和分辨率有很大的差异。特别是末次冰期晚冰阶黄土粒度所反映的冬季风振荡的频率和幅度都超过了格陵兰冰芯记录。邙山晚更新世黄土地层是进行高分辨率黄土地层与短时间尺度过去全球变化研究的极好对象。

关键词 高分辨率 晚更新世 黄土 邙山

旨在对地球的气候和环境进行认识过去、理解现在和预测未来的全球变化研究,把全球视为一个不可分割的整体,任何区域的气候和环境变化都要受整体变化的制约,而整体又是区域的综合体现。地球系统演变过程中的各种信息,均不同程度地保存在地壳物质中。就通过地质记录进行过去全球变化(PAGES)研究而言,数十年至数百年这个时间尺度则更是国际地圈—生物圈计划(IGBP)的研究重点^[1,2]。我们在河南郑州邙山塬找到了沉积速率快、记录连续并具有 10—100 年高分辨率的黄土层,对其进行了初步研究。本文从地层学角度对这项研究的结果作一介绍,藉以为下一步的深入研究奠定基础。

1 地层剖面

郑州—洛阳间的风成黄土沿黄河南岸分布,以伊洛河为界,以西为邙岭塬,以东为邙山塬。它们属黄土高原最东南部边缘的黄土塬,构造地貌上位于中国大陆构造地貌阶梯西部上升区与东部沉降区的转折部位(图 1),前人曾作过一般性的工作^[3,4]。

邙山塬位于河南省郑州市 NW 方向约 30km 黄河南岸,是黄土高原与华北平原过渡带上

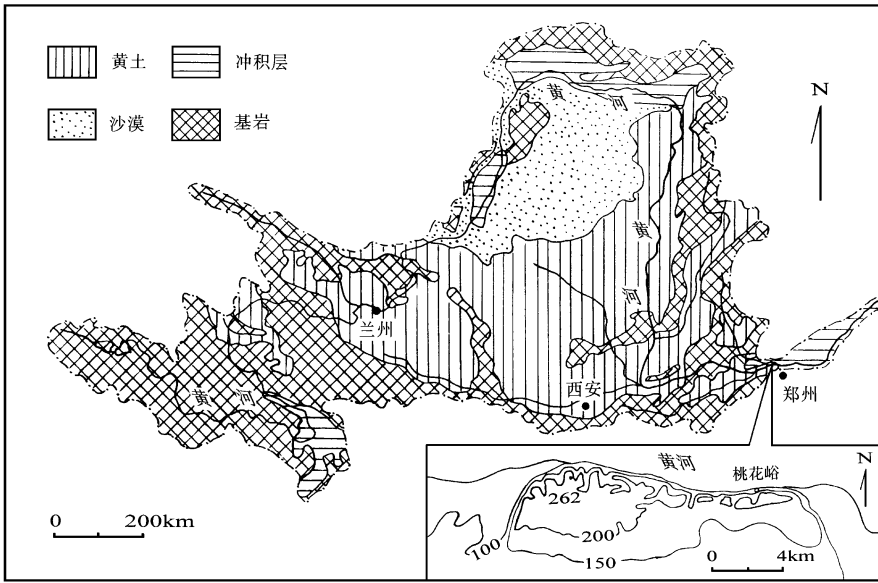


图 1 郑州邙山塬在黄河流域中的位置略图

Fig. 1 Sketch map showing location of Mangshan Yuan in the Yellow River drainage

最东南缘的黄土塬。邙山塬现存塬面东西长约 18km,南北宽约 5km,最高海拔 262m。由于华北平原的新构造沉降,黄土—古土壤序列自西向东逐层倾伏。黄河南移侵蚀形成陡立岸坡和深切冲沟,出露良好的地层剖面。按黄土和古土壤地层单位的划分方法^[5-6],它是由 L₅或 W S₁以上厚约 160m 的黄土—古土壤地层序列组成。桃花峪黄土剖面位于邙山塬东北缘,地理坐标 34° 57' N, 113° 29' E, 顶面海拔 228m, 出露 S₅ 以上黄土—古土壤序列, 厚度约 130m, 其中 S₁ 以上黄土—古土壤地层厚度较大, 为 81.3m。此次工作着重实测了桃花峪剖面 S₂ 以上地层。根据岩性和磁化率特征, 桃花峪剖面 S₅ 以上地层自上而下划分为 17 层 (图 2)

- | | |
|--|------|
| 17. 褐灰色亚砂土, 现代耕作土和全新世古土壤 (S ₀). | 0.6m |
| 16. 浅灰黄色粉砂土, 疏松, 具大孔隙, 颗粒较粗 | 6.5m |
| 15. 黄灰色亚粘土, 颗粒较细, 发育较浅的土壤团粒结构, 浅发育古土壤; 中部 (距剖面顶 10.2m) 蜗牛化石的 ¹⁴ C 年龄为 28910 ± 360a BP | 7.1m |
| 14. 浅灰黄色亚砂—粉砂土, 疏松 | 2.0m |
| 13. 黄灰色亚粘土, 发育较浅的土壤团粒结构, 浅发育古土壤. | 4.5m |
| 12. 浅灰黄色亚砂—粉砂土, 疏松 | 9.7m |
| 11. 浅红褐色亚粘土, 古土壤, 具明显的团粒结构。中部 (距剖面顶 33.5m) 古土壤中的蜗牛化石的 ¹⁴ C 年龄为 38545 ± 1120 aBP | 5.2m |
| 10. 灰黄色亚砂土。上部 (距剖面顶 37.6—37.7m) 热释光年龄为 39 ± 3 kaBP | 3.7m |
| 9. 浅红褐色亚粘土, 古土壤, 具团粒结构, 见星点状白色碳酸盐 | 1.0m |
| 8. 灰黄色亚砂土 | 4.0m |

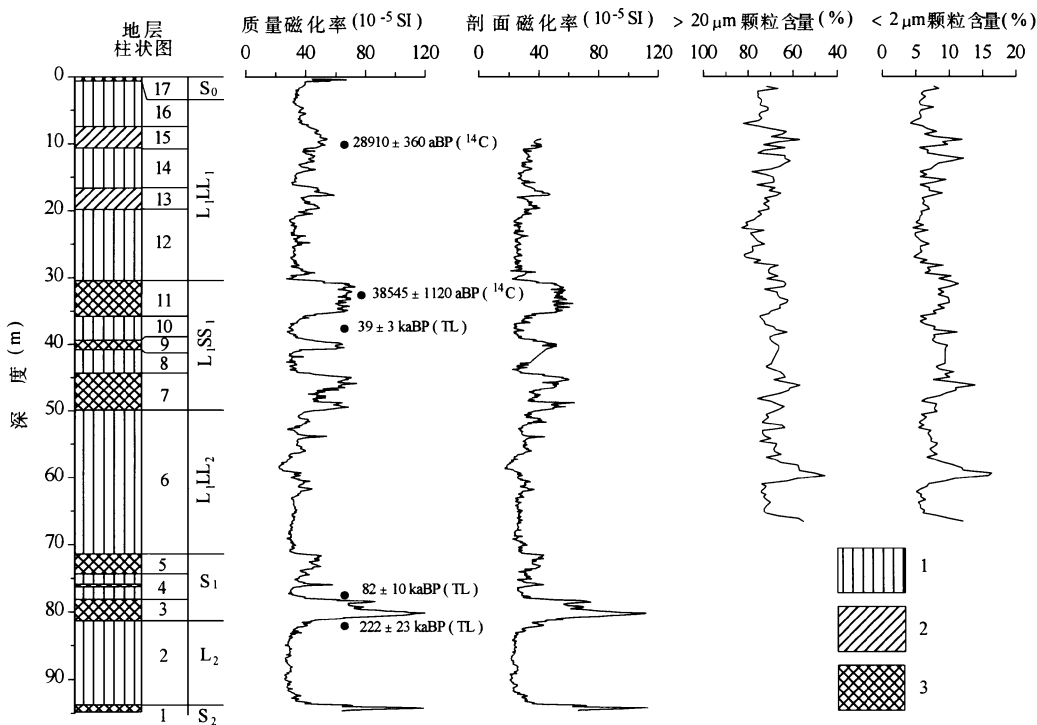


图 2 郑州邙山桃花峪剖面上部黄土—古土壤序列与磁化率、粒度曲线

Fig. 2 The loess-paleosol sequence and curves of the magnetic susceptibility and grain size in upper Taohuayu profile at Mangshan, Zhengzhou

1. 黄土; 2. 浅发育古土壤; 3. 古土壤

- 7. 浅红褐色亚粘土, 古土壤, 具团粒结构, 见星点状白色碳酸盐 5. 6m
- 6. 灰黄色亚砂土, 胶结较好, 坚硬, 棱柱状构造, 断面平整, 隙壁可见白色钙膜 21. 5m
- 5. 浅红色亚粘土 浅发育古土壤 2. 3m
- 4. 灰黄色亚砂土, 胶结较好, 坚硬, 棱柱状构造, 断面平整, 隙壁可见白色钙膜 下部 (距剖面顶 77. 6— 77. 7m) 热释光年龄为 82 ± 10 kaBP 4. 4m
- 3. 黄红、紫红色亚粘土, 团粒结构, 具棱柱状构造, 白色自生碳酸盐菌丝发育, 底部钙结核层, 为第一层标志明显的深发育古土壤 (S_1 下层) 3. 2m
- 2. 灰黄、浅黄色亚砂土, 质地均匀, 棱柱状构造, 断面较平整, 零星分布钙质小结核。距顶 81. 6— 81. 7m 处的热释光年龄为 222 ± 23 kaBP 12. 4m
- 1. 紫红、棕红色亚粘土, 团粒结构明显, 白色自生碳酸盐菌丝发育, 底部钙结核层, 为第二层深发育土壤 (S_2)。 1. 0m

2 磁化率特征

磁化率测量是研究黄土地层的基本方法之一, 黄土磁化率作为常用的气候代用指标而倍受重视。我们重点选取了邙山桃花峪剖面 S_2 以上黄土—古土壤序列, 用英制 Bartington MS1

磁化率仪,以 10cm间距分别进行了野外剖面磁化率和室内质量磁化率测量(图 2)。对比剖面磁化率和质量磁化率曲线,两者的数值虽略有差异,但曲线形态极为相似,具有相同的变化趋势和相近的变化幅度

一般地说,黄土磁化率值的大小决定于成壤作用强度和风尘堆积速率。邙山黄土地层的磁化率水平远小于黄土高原内部^[6-7],其原因在于该地的高堆积速率导致加积性成壤作用的强度相对偏弱,但其磁化率通量却要大于黄土高原内部。根据磁化率特征,邙山黄土地层可分为:

- (1)不显成壤的黄土:质量磁化率 $< 40(10^{-5} SI)$
- (2)浅发育的古土壤:质量磁化率 $40-60(10^{-5} SI)$
- (3)古土壤:质量磁化率 $60-80(10^{-5} SI)$
- (4)深发育的古土壤:质量磁化率 $> 80(10^{-5} SI)$

3 地层时代

桃花峪剖面共采集热释光测年样品 4个,经中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室热释光实验室测定,结果列于表 1。个别样品的年龄虽与黄土高原内部相同层位的年代有一定差异,但在指示大层位上仍有其参考价值。

表 1 邙山桃花峪剖面黄土热释光测年结果

Table 1 Results of thermoluminescent dating of loess in Taohuayu profile, Mangshan

实验室号	野外号	地层层位	含水量 (%)	U Th K含量			年剂量率 (Gy/ka)	“坪” 区间(°C)	等效 剂量 (Gy)	T有效 系数	年龄 (kaBP)
				U ($10^{-6} g/g$)	Th ($10^{-6} g/g$)	K ₂ O (%)					
L93-43	ZM TL-5	L ₁ SS ₁ 上部	8.9	2.82	13.25	1.99	4.25	310-350	165±10	0.042	39±3
L93-40	ZM TL-12	L ₁ LL ₂ 中部	2.9	2.21	15.17	2.14	4.55	320-360	139±13	0.044	3±3
L93-41	ZM TL-10	S ₁ 中部	7.7	2.97	14.88	2.39	4.76	370-400	392±44	0.037	82±10
L93-42	ZM TL-11	L ₂ 顶部	2.0	2.98	11.31	2.09	4.49	340-370	995±97	0.050	222±23

桃花峪剖面含较多的蜗牛化石,距顶 10.2m和 33.5m处的蜗牛化石,经中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室¹⁴C实验室测定,年龄分别为 28910 ± 360 和 38545 ± 1120 aBP

依据地层序列,结合测年数据及磁化率特征,可以确定:桃花峪剖面 71.4-81.3m和 93.7-94.7m两层深发育古土壤可分别与黄土高原 S₁和 S₂对比,71.4m以上为晚更新世马兰黄土,全新世古土壤和黄土。剖面 17层为全新世古土壤和黄土(S₀),系冰后期沉积;16-6层为马兰黄土(L₁),系末次冰期沉积,其中 16-12层为 L₁LL₁,11-17层为 L₁SS₁,6层为 L₁LL₂;5-3层为 S₁古土壤,为末次间冰期沉积,又可细分为 S₁SS₁(5层),S₁LL₁(4层)和 S₁SS₂(3层);2层为 L₂黄土,1层为 S₂古土壤,分别属倒数第二冰期和倒数第二间冰期沉积。

4 古环境信息初步讨论

中国黄土记录的古气候变化,已证实可与深海沉积氧同位素记录进行良好的对比^[6-7]。以 SPECMAP氧同位素曲线^[8]确定的阶段界限的日历年份为标定点,按 Kukla等的磁化率年龄模式^[9],可获得相应的年代地层时间标尺。图 3绘出了晚更新世邙山黄土的年代磁化率曲线,并与氧同位素阶段进行对比。有关研究表明,黄土和古土壤的磁化率值是夏季风气候的代用指

标,主要反映来自低纬海洋偏南夏季风的强度^[7 10]。所以,相对的磁化率低值与 W^8O 偏负值对应,指示冰期或冰阶干冷气候;相对的磁化率高值与 W^8O 偏正值对应,指示间冰期或间冰阶暖湿气候。邙山桃花峪剖面黄土由磁化率标志的夏季风气候变化与 W^8O 变化有较好的一致性,乃是对全球冰期气候旋回的响应;同时两者之间亦存在一定差异性,则是全球气候背景上区域性古环境变化特殊性的反映。

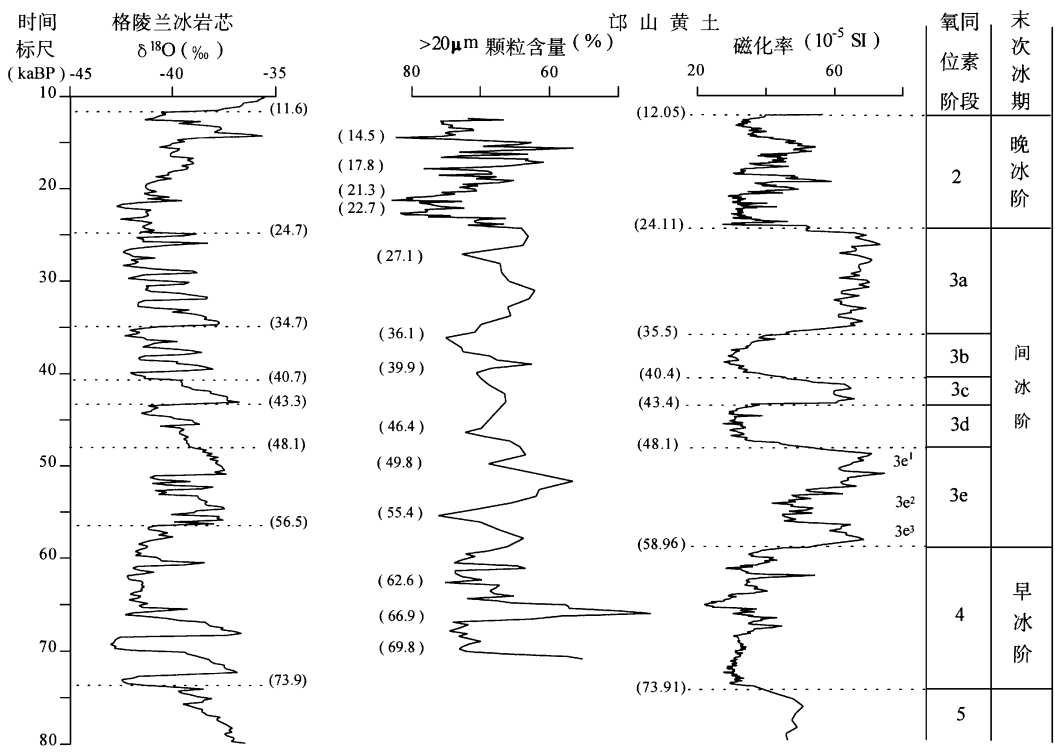


图 3 邙山晚更新世黄土年代磁化率、粒度曲线及与深海氧同位素阶段的对比

Fig. 3 Time series comparing magnetic susceptibility and grain size with the marine oxygen isotope stage

晚更新世邙山黄土的平均沉积速率和分辨率说明(表 2),来自高纬地区的偏北冬季风挟带和沉积的风尘物质,在不同冰期(阶)或间冰期(阶)有很大的差异。末次冰期晚冰阶的平均沉积速率最大,达到 2.47mm/a 末次间冰期的平均沉积速率虽相对偏小,但仍有 0.18mm/a 桃花峪剖面虽然是按 10cm 间距测定磁化率,但其平均分辨率高者为 40.3a/10cm,低者为 564.9a/10cm 因此,对邙山黄土而言,只要加密到 2cm 的采样间距,就可以实现研究 10-100 年分辨率的古气候和古环境变化。

表 2 邙山桃花峪晚更新世黄土的平均沉积速率和分辨率

Table 2 Average deposit rate and resolution in the late Pleistocene loess profile at Mangshan

地层单位	单位厚度 (m)	氧同位素阶段	界限年龄 (kaBP)	持续时间 (ka)	平均沉积速率 (mm/a)	平均分辨率 (a/10cm)
L ₁ LL ₁	29.8	2	24.11-12.05	12.06	2.47	40.5
L ₁ SS ₁	19.5	3	58.96-24.11	34.85	0.56	178.6
L ₁ LL ₂	21.5	4	73.91-58.96	14.95	1.44	69.5
S ₁	9.9	5	129.84-73.91	55.93	0.18	564.9

粒度分析结果表明,邙山黄土的粒度较粗^[11],粒径 < 2 μ m 的细粒含量变化于 4–16% 之间,而 > 20 μ m 的粗粒含量高达 45–85% (图 2),应是一种砂黄土。我们认为,在堆积邙山黄土的风尘物质中,来自西北沙漠的物质成分极为有限,大部分为邻近地区起尘后在下风方向沉降堆积的。黄土高原被侵蚀所产生的泥沙,经黄河支、干流搬运,出三门峡后在孟津以东形成的黄河冲积扇,是邙山黄土的主要源地。来自高纬地区的偏北冬季风翻越太行山后产生地形下坡风,把黄河冲积扇扇顶部位的细粒物质或次生黄土吹扬为粉尘,在下风扩散部位因风速骤降而快速堆积。造成邙山晚更新世黄土地层高沉积速率所需要的丰富物源供应是同期黄土高原高侵蚀速率的反映,可以认为,130kaBP 以来,尤其是 24kaBP 以来是黄土高原侵蚀作用最强盛的时期。

邙山塬黄土—古土壤地层剖面,从发育 W_{S1} 复合古土壤后才开始堆积近源风成黄土,也表明挟带黄土性泥沙的黄河在 1.2MaBP 前后才开始通过三门峡东流。

邙山晚更新世黄土地层沉积速率快,记录的古气候和古环境信息丰富。由于该地处于特定的构造、地貌和气候部位,与黄土高原既有联系又有区别,因而是进行高分辨黄土地层与短时间尺度过去全球变化研究的极好对象。

参 考 文 献

- 1 吴锡浩,过去全球变化研究。见:肖庆辉等著,当代地质科学前沿。武汉:中国地质大学出版社,1993,470–474
- 2 叶笃正,中国的全球变化预研究,序言。北京:地震出版社,1992,1–3
- 3 谢封春,姜泽泛,豫西黄土的基本特征。河南地质,1987,5(3),42–48
- 4 滕志宏,豫西两个黄土剖面及其地层划分。地层学杂志,1988,12(4),290–297
- 5 刘东生等,黄土与环境。北京:科学出版社,1985,44–112
- 6 安芷生, Kukla G 刘东生,洛川黄土地层学。第四纪研究,1989,(2),155–168
- 7 An Z S, Kukla G, Proter S C and Xiao J L, Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130000 years. *Quaternary Research*, 1991, 36: 29–36.
- 8 Martinson D G, Pisias N G, Hays J D, Imbrie J, Moore T C and Shackleton N J, Age dating and the orbital theory of the ice ages. Development of a high-resolution 0 to 300000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 1987, 27: 1–29.
- 9 Kukla G, Heller F, Liu X M, Xu T C, Liu T S and An Z S, Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility. *Geology*, 1989, 16: 811–814.
- 10 安芷生, 吴锡浩, 汪品先, 王苏民, 董光荣, 孙湘君, 张德二, 卢演侑, 郑绍华, 赵松龄, 末次间冰期以来中国古季风气候与环境变迁。见:黄土·第四纪地质·全球变化,第三集,北京:科学出版社,1992,14–30
- 11 Wu Xihao, Wang Sumin, An Zhisheng, Jiang Fuchu et al, Mangshan loess and its prospects for study of Past Global Changes. *Scientia Geologica Sinica*, Supplementary Issue (1), 1995, 115–120.

THE HIGH-RESOLUTION LATE PLEISTOCENE LOESS STRATIGRAPHY IN TAOHUAYU, MANGSHAN, ZHENGZHOU

Jiang Fuchu Wu Xihao Xiao Huaguo

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Wang Sumin Xue Bin

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica*)

Abstract For its characteristic high-resolution the eolian Mangshan loess is exposed along the south bank of Huanghe River, situated on the northwest suburbs of Zhengzhou City,

Henan Province, which is wholly composed of loess strata, over 160 m thick, upward from loess L⁵ or paleosol W S¹. The loess sequence in this area are perfect and the typical loess profiles are exposed in Taohuayu and Zhaoxiayu, in which the strata upward from paleosol S¹ at Taohuayu profile have been preliminary studied. According to the lithology, susceptibility, TL and ¹⁴C dating, the stratigraphical units have been subdivided into S₀, L₁, S₁, L₂ and S₂ with 0.6m, 70.8m, 9.9m, 12.4m and 1.0m thick respectively. It is of great significance that there exist quite a thickness of Malan Loess (L₁) formed in the Late Pleistocene.

We have sampled at an interval of 10cm and measured the profile magnetic susceptibility in the field and mass magnetic susceptibility in the laboratory respectively. The values of magnetic susceptibility of the Mangshan Loess is smaller than that inside the Loess Plateau. We have correlated the magnetic susceptibility profile with the SPECMAP marine oxygen-isotope time series and inferred that the rapid changes in susceptibility values at the L₁/S₀, S₁/L₂ stratigraphic boundaries correspond with the oxygen-isotope stage 2/1 (12.05ka) and 5/4(73.91ka) transitions respectively. With the two marked points, by using the Kukla's susceptibility age model to calculate the age of successive stratigraphic levels we then derived a chronology. Grain size of the loess during the last glaciation (L₁) was analyzed at an interval of 40cm, and depositional rate of each unit has also been calculated.

The susceptibility of Chinese loess mainly manifests the prosperity or decline of the southerly summer monsoon from the low latitude ocean, so the susceptibility values may be used as a proxy index for the change strength of summer monsoon climate. Average deposit rate and resolution in late Pleistocene loess at Mangshan reveal a great difference of dust deposit blown and entrained by the northerly winter monsoon from the high latitudes area between glaciation and interglaciation or stadial and interstadial. The maximum mean deposit rate is up to 2.47mm/a during the last glaciation, whereas the minimum is 0.18mm/a yet during the last interglaciation. The frequency and amplitude of winter monsoon variations revealed by the grain size record whose mean resolution come to 40.5 a/10cm during the last stadial in the last glaciation at Mangshan are more detailed than that by the Greenland ice core.

The late Pleistocene loess strata in Mangshan are both related to and different from that inside the Loess Plateau. For its high resolution the Mangshan loess during last glaciation can reflect the abrupt climate changes of East Asian monsoon, and is an excellent record for the Past Global Changes study on high resolution and short timescale.

Key words high-resolution, late Pleistocene, loess, Mangshan

作者简介

蒋复初,男,1949年生,副研究员,1983年毕业于武汉地质学院北京研究生部地貌学与第四纪地质学专业,获硕士学位。现主要从事第四纪地质与环境研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081