

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

中原邙山黄土与末次间冰期以来古季风特征

蒋复初^{1,2)} 王书兵¹⁾ 赵志中¹⁾ 傅建利¹⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

2) 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安, 710075

内容提要 中原邙山赵下峪剖面出露 S_{10} 以上黄土地层, 厚度大于 172.1 m。末次间冰期 S_1 古土壤厚 15.7 m, 末次冰期 L_1 黄土厚达 77.3 m, 其中晚冰阶 L_1LL_1 黄土、间冰阶 L_1SS_1 古土壤和早冰阶 L_1LL_2 黄土分别厚 41.6 m、13.2 m 和 22.5 m。邙山黄土是厚度最大的晚更新世黄土地层剖面之一, 记录了丰富的气候环境变化信息。用 SPECMAP 氧同位素曲线确定的阶段界限的日历年份为标定点和磁化率年龄模式, 获得相应的时间标尺, 据以计算出 S_2 以上各层段的平均沉积速率和分辨率。邙山黄土倒数第二间冰期以来不同冰期或冰阶与间冰期或冰阶的粒度、平均沉积速率和分辨率有很大的差异, 其中以末次冰期晚冰阶 L_1LL_1 黄土的平均沉积速率为最高, 达 3.45 mm/a, 而末次间冰期 S_1 古土壤的沉积速率亦高达 0.28 mm/a。本文主要根据赵下峪剖面的磁化率和 $>45\mu\text{m}$ 粗颗粒含量变化曲线, 并与格陵兰 GRIP 冰心和深海 SPECMAP 氧同位素曲线对比, 讨论末次间冰期以来古季风特征及其相互关系。

关键词 黄土 磁化率 粒度 古季风 邙山

数十年来, 黄土高原的古环境研究受到了高度重视并取得重大进展, 但对其东南部的研究却相对较薄弱。邙山塬位于河南省郑州市西北黄河南岸, 地处黄土高原与华北平原过渡带上, 是黄土高原最东南缘的黄土塬(图1), 因受气候、构造等营力的交互作用而发育厚层风成黄土—古土壤地层序列, 记录了东亚古环境演变的详细信息。其中, 最引人关注的是巨厚的晚更新世黄土, 地层厚度巨大, 分辨率高, 记录的古气候信息十分丰富, 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。

1 邙山黄土地层

由于黄河侵蚀南移和深切冲沟切割, 邙山塬北侧形成陡立岸坡, 出露良好的黄土地层剖面。笔者近年来对邙山黄土地层进行了深入研究, 以黄土高原经典的洛川剖面为参照(安芷生等, 1989; 丁仲礼等, 1989), 对位于河南省荥阳市北邙乡刘沟村的赵下峪剖面进行了详细划分(图2)。根据实测的岩石地层剖面和磁化率特征, 结合热释光(TL)、光释光(OSL)测年和古地磁测定结果表明, 赵下峪剖面出

露 S_{10} 以上黄土—古土壤序列, 总厚度达 172.1 m(蒋复初等, 1998)(图2)。邙山黄土地层的特色是晚更新世黄土厚度巨大, 其中末次间冰期 S_1 复合古土壤厚 15.7 m, 末次冰期 L_1 黄土厚达 77.3 m, 且是由晚冰阶黄土 L_1LL_1 、间冰阶古土壤 L_1SS_1 和早冰阶黄土 L_1LL_2 组成的复合黄土, 分别厚 41.6 m、13.2 m 和 22.5 m。邙山晚更新世黄土的厚度远远大于黄土高原的同期黄土的厚度, 是晚更新世黄土地层厚度最大的剖面之一。

邙山塬东北缘桃花峪和西北角的剖面出露 S_5 以上黄土—古土壤序列(Wu et al., 1995; 蒋复初等, 1997), 地层厚度 130 m。其中 S_0 古土壤厚 0.6 m, L_1 黄土厚 70.8 m, 其中 L_1LL_1 黄土厚 29.8 m、 L_1SS_1 古土壤厚 19.5 m、 L_1LL_2 黄土厚 21.5 m, S_1 古土壤厚 9.9 m。

邙山塬西北角孤柏嘴剖面出露 S_8 以上黄土—古土壤序列, 地层厚度 130 m(赵希涛等, 1997)。上部晚更新世以来黄土—古土壤序列厚度亦可达 83.5 m, 其中 S_0 古土壤厚 0.6 m; L_1 复合黄土总厚 78.1 m, L_1LL_1 黄土厚 37.8 m、 L_1SS_1 古土壤厚

注: 本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号 G1999043401)、国土资源部基础研究项目(编号 991005)和国家自然科学基金资助项目(编号 49972060)的成果。

收稿日期: 2003-09-22; 改回日期: 2004-02-04; 责任编辑: 王思恩。

作者简介: 蒋复初, 男, 1949年生。现为中国地质科学院地质力学研究所研究员, 主要从事第四纪地质与环境研究。通讯地址: 100081, 北京市海淀区民族大学南路11号; 电话: 010-68422376; Email: jiangfuchu@sina.com。

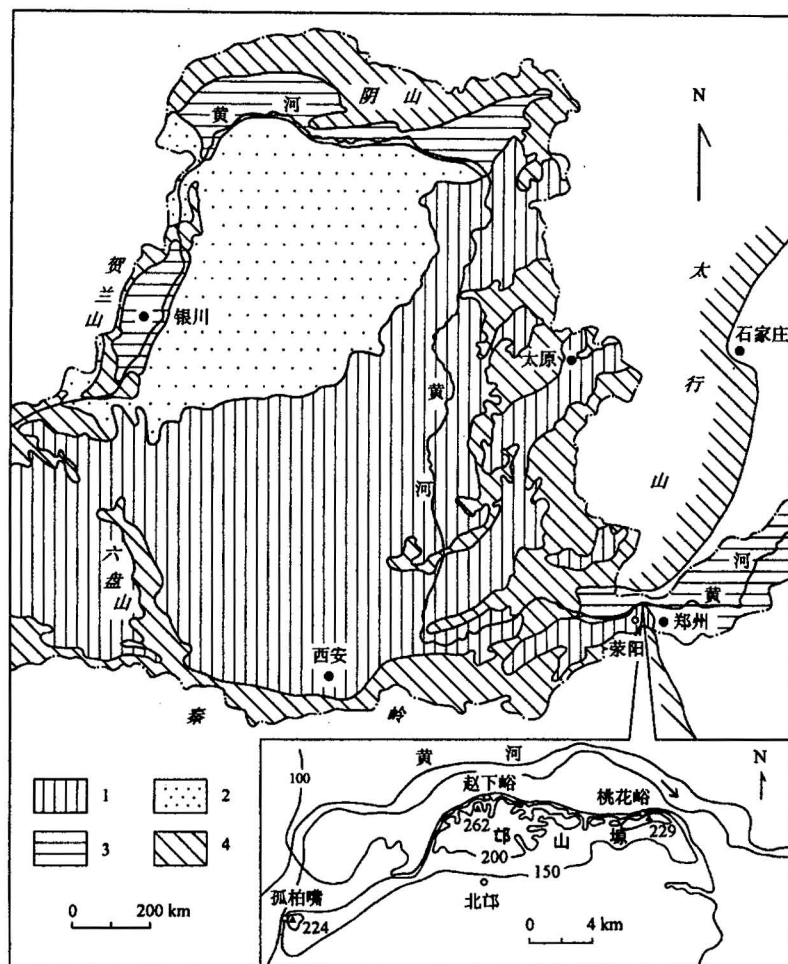


图1 邙山塬位置略图

Fig. 1 Sketch map showing location of the Mangshan Yuan

1—黄土; 2—沙漠; 3—冲积平原; 4—山地

1—Loess; 2—desert; 3—alluvial plain; 4—mountain

0.9 m、 L_1LL_2 黄土厚4.0 m、 L_1SS_2 古土壤厚0.8 m、 L_1LL_3 黄土厚3.5 m、 L_1SS_3 古土壤厚0.8 m、 L_1LL_4 黄土厚21.6 m、 L_1SS_4 古土壤厚1.7 m、 L_1LL_5 黄土厚7.0 m、 S_1 复合古土壤厚4.8 m。

2 邙山晚更新世黄土的粒度与沉积速率

邙山赵下峪剖面粒度分析结果(图2)表明, $>45\mu\text{m}$ 的粗粒组分含量一般变化于10%~40%之间, 局部层段高达50%左右, 大致以 L_2 黄土为界, 上部与下部有较大差异。 L_2 以下, $>45\mu\text{m}$ 的粗颗粒含量变化于10%~30%, 变幅相对偏小, 与沉积速率相对偏慢相一致。从 L_2 向

上, 黄土地层的粒度组成明显较黄土高原腹部地区要粗得多, $>45\mu\text{m}$ 的粗颗粒含量明显增加, 一般变化于10%~40%之间, 变幅偏大, 且变化较为频繁, 与沉积速率相对偏快相一致, 是一种以粗粉砂为主要组分的近源砂黄土。

邙山晚更新世黄土不同时段平均沉积速率和分辨率有很大的差异。用 SPECMAP 氧同位素曲线 (Martinson et al., 1987) 确定的阶段界限的日历年龄为标定点, 按 Kukla 等 (1989) 的磁化率年龄模式, 获得相应的年代地层时间标尺, 并据以计算出 S_2 以上各层段的平均沉积速率和分辨率 (表1)。邙山黄土倒数第二间冰期以来不同冰期或冰阶与间冰期或间冰阶的粒度、平均沉积速率和分辨率有很大的差异。邙山黄土末次冰期的平均沉积速率明显偏大, 其中又以晚冰阶 L_1LL_1 黄土的平均沉积速率为最大, 高达 3.45 mm/a, 平均分辨率可达 2.90 a/cm。末次间冰期 S_1 古土壤的粒度虽然相对偏细, 平均沉积速率仍可达 0.28 mm/a, 远远大于 S_2 古土壤的 0.05 mm/a, 而且还高于 L_2 黄土的 0.18 mm/a。黄土高原南缘沉积速率较大的渭南剖面, L_1 黄土沉积速率为 0.11~0.13 mm/a, S_1 古土壤仅为 0.06~0.08 mm/a (刘嘉麒等, 1994)。

邙山黄土的沉积速率远远高于黄土高原同期黄土的沉积速率, 与邙山所处的特定构造地貌部位有关, 是

表1 邙山赵下峪剖面晚更新世黄土的平均沉积速率和分辨率

Table 1 Average sedimentation rate and resolution of the Late Pleistocene loess in Zhaoxiaiyu profile at Mangshan

地层单位	单位厚度 (m)	氧同位素阶段	界限年龄 (ka BP)	持续时间 (ka)	平均沉积速率 (mm/a)	平均分辨率 (a/cm)
S_0 以上	2.6	1	0~12.05	12.05	0.22	46.35
L_1LL_1	41.6	2	12.05~24.11	12.06	3.45	2.90
L_1SS_1	13.2	3	24.11~58.96	34.85	0.38	26.40
L_1LL_2	22.5	4	58.96~73.91	14.95	1.51	6.64
S_1	15.7	5	73.91~129.84	55.93	0.28	35.62
L_2	10.8	6	129.84~189.61	59.77	0.18	55.34
S_2	2.8	7	189.61~244.18	54.57	0.05	194.89

构造与东亚古季风耦合作用的环境效应。

桃花峪剖面末次间冰期以来黄土—古土壤序列亦显示相似特征(表2),以末次冰期晚冰阶的平均沉积速率最大,达到2.47 mm/a,平均分辨率亦可达4.05 a/cm。

据此可以认为,邛山虽然远离西北沙漠,自倒数第二冰期 L_2 末以来,邛山黄土沉积的粒度明显较黄

土高原的为粗,沉积速率显著加快,并在 L_1LL_1 达到3.45 mm/a。沉积速率的突变性增大,指示了东亚季风系统于约150 ka BP 前后发生了突变,邛山黄土的物源发生重大的变化。造成邛山晚更新世黄土地层高沉积速率所需要的丰富物质供应是同期黄土高原高侵蚀速率的反映,可以认为,150 ka BP 以来,尤其是 24 ka BP 以来是黄土高原侵蚀作用最强盛的

时期,这一变化可能与黄河开始贯通三门峡和外流黄河水系形成有关(吴锡浩等,1998)。通过黄河的传输,给下游地区带来丰富的物质。150 ka BP 以来,黄河携带着大量由黄土高原侵蚀所产生的泥沙,出三门峡后,在孟津以东形成了巨大的黄河冲积扇。来自高纬偏北冬季风把黄河冲积物吹扬、搬运,并在下风扩散部位快速沉降堆积,形成具有粒度偏粗、沉积速率高、地层厚度大等特点的近源风成黄土。三门峡的贯通,意味着以黄河水流和季风环流为纽带、黄土高原的侵蚀与华北平原的堆积相联系的环境动力系统形成,进而导致了该区晚更新世环境发生巨变,并对黄河流域乃至黄、渤海区的自然环境产生深刻的影响。邛山黄土不仅详细地记录了东亚季风变迁的区域响应,而且清楚地反映了150 ka BP 前后构造与气候耦合作用在东亚大陆地貌阶梯低边界带上所发生的突变事件及其环境效应。

3 末次间冰期以来的古季风特征

中国东亚季风区的气候以冬季风与夏季风的季节交替为特征,黄土—古土壤序列很好地记录了东亚季风变迁的历史。有关研究表明,黄土和古土壤层的磁化率值是夏季风气候的良好代用指标(An et al., 1990; 刘东生等,1990; 安芷生等,1991a; 1991b; An et al.,

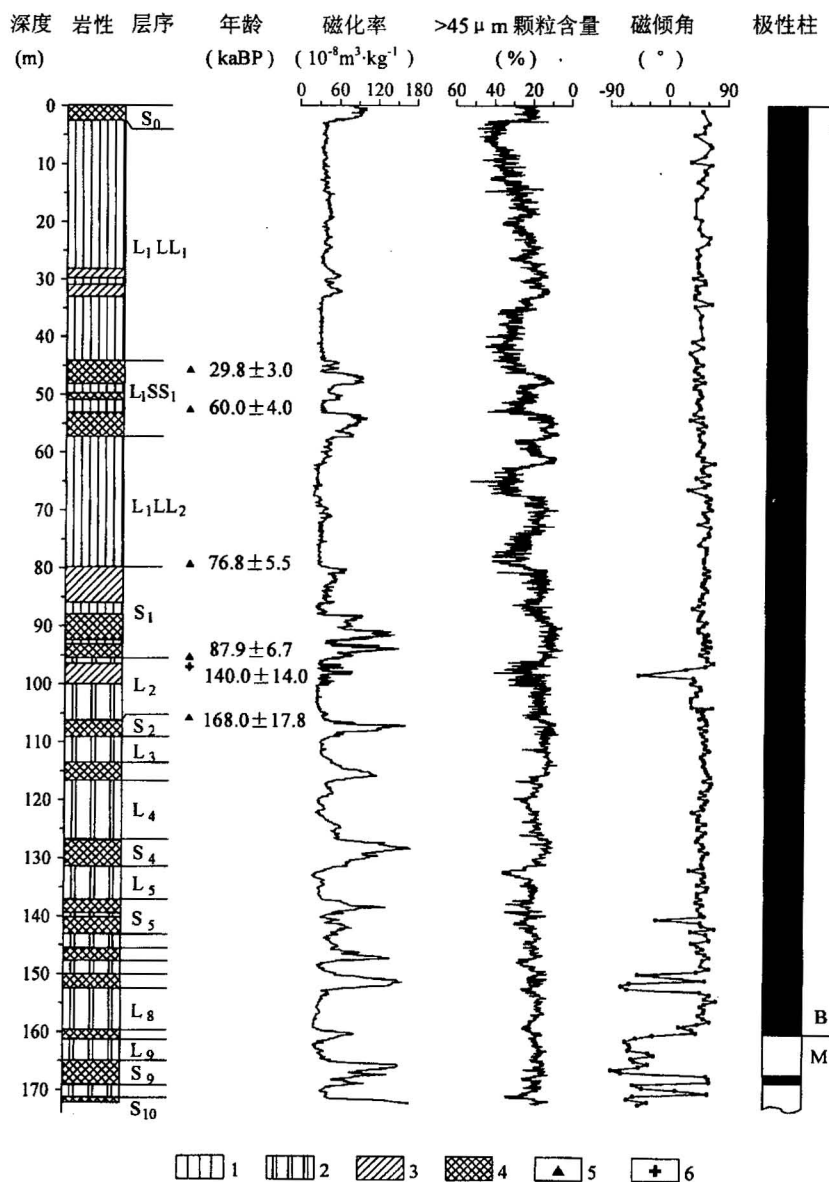


图2 赵下峪剖面黄土—古土壤序列及其磁化率和粒度曲线
Fig. 2 Map showing curves of magnetic susceptibility and grain size of loess—paleosol sequence and its polarity column in Zhaoxiayu profile at Mangshan

- 1—马兰黄土; 2—离石黄土; 3—弱发育古土壤; 4—古土壤; 5—光释光年龄(OSL)(ka); 6—热释光年龄(TL)年龄(ka)
1—Malan loess; 2—Lishi loess; 3—immature paleosol; 4—paleosol; 5—OSL age(ka); 6—TL age(ka)

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
in Taohuayu profile at Mangshan

地层单位	单位厚度 (m)	氧同位素 素阶段	界限年龄 (ka BP)	持续时间 (ka)	平均沉积 速率(mm/a)	平均分辨 率(a/cm)
S ₀ 以上	0.6	1	0~12.05	12.05	0.05	200.83
L ₁ LL ₁	29.8	2	24.11~12.05	12.06	2.47	4.05
L ₁ SS ₁	19.5	3	58.96~24.11	34.85	0.56	17.86
L ₁ LL ₂	21.5	4	73.91~58.96	14.95	1.44	6.95
S ₁	9.9	5	129.84~73.91	55.93	0.18	56.49

1991), 主要反映来自低纬海洋偏南温湿夏季风的强度变化。磁化率值越大, 指示夏季风带来的降水越多和气温越高。黄土和古土壤层的粗颗粒含量是冬季风气候的有效代用指标(Xiao et al., 1992; Porter et al., 1995), 与来自高纬偏北干冷冬季风的强弱直接相关, 粗颗粒含量越多, 指示冬春季越寒冷越干燥。黄土和古土壤层的粒度是粉尘沉积作用及其在地表经风化成壤作用的综合反映。 $>45\mu\text{m}$ 的粗粉砂和细砂粒级组分为沙尘暴沉积, 多发生于冬春季节, 能更好地反映冬季风的风场强度和方向的变化。

邙山黄土记录的古气候变化, 可与格陵兰冰心和深海氧同位素记录进行良好对比(图3)。邙山黄土的磁化率和 $>45\mu\text{m}$ 粗颗粒含量曲线与格陵兰

GRIP 冰心(Dansgaard et al., 1993)和深海 SPECMAP 氧同位素曲线(Martinson et al., 1987)有很多的相似之处。磁化率相对的低值和对应于 $\delta^{18}\text{O}$ 低值, 指示冰期或冰阶的干冷气候; 磁化率相对的高值和粗颗粒含量相对低值对应于 $\delta^{18}\text{O}$ 高值, 指示间冰期或间冰阶的暖湿气候。但需指出, 在倒数第二冰期(L₂)中, 约14.3~15.7 ka BP 发生了以黄土粒度变粗和沉积

速率加快为特征的环境突变, 粒度 $>45\mu\text{m}$ 组分含量所指示的冬季风增强与磁化率值所指示的夏季风增强相对应。这种冬季风和夏季风同步加强的信息, 应是构造与气候耦合事件的环境响应。

从图3 可知, 邙山黄土古土壤序列磁化率曲线反映的末次间冰期以来夏季风气候变迁与 $>45\mu\text{m}$ 颗粒含量曲线反映的冬季风气候变迁, 在万年尺度上呈互为消长关系(图3), 在属于暖期的末次间冰期、末次冰期间冰阶及冰后期, 夏季风强盛对应于冬季风衰弱, 在属于冷期的末次冰期早冰阶和晚冰阶夏季风衰弱对应于冬季风强盛。同时, 夏季风的变化幅度明显小于冬季风, 尤其在末次冰期晚冰阶中表

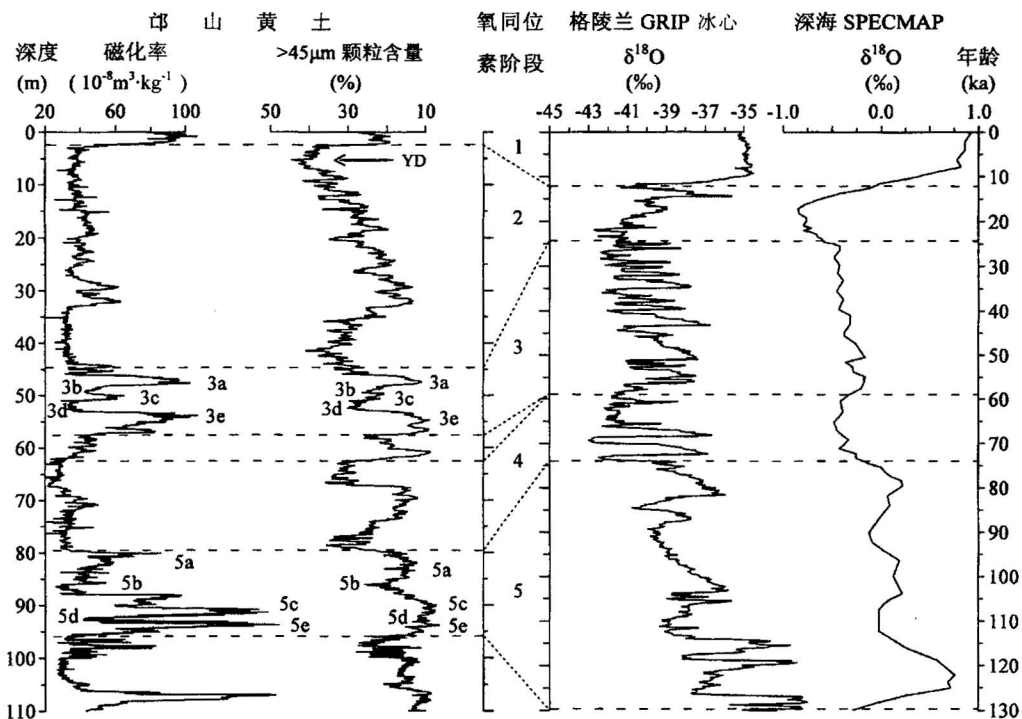


图 3 邙山黄土末次间冰期以来的磁化率和粒度序列及与格陵兰冰心和深海氧同位素曲线对比
Fig. 3 Series of magnetic susceptibility and since the last interglacial stage from the Mangshan loess
and the tentative comparison with the oxygen isotope records from GRIP and SPECMAP

现得更为突出,显示了末次冰期以来季风气候存在的不稳定性。

末次冰期早冰阶(相当于 MIS 4)末期至间冰阶(相当于 MIS 3)早期,邛山黄土记录的夏季风强盛基本上对应于冬季风衰弱,反之亦然。但由磁化率指示的冬季风变率明显较由粒度指示的夏季风盛衰变化频繁,因而,磁化率变化能够更好地反映季风演化过程。

末次冰期早冰阶(相当于 MIS 4)末期至间冰阶(相当于 MIS 3)早期,邛山黄土记录的夏季风与夏季风变化有很大差异。磁化率反映的夏季风变化仅表现为小幅度波动增强,而 $>45\mu\text{m}$ 颗粒含量反映的冬季风则先为迅速减弱,然后又一度波动增强,其时的变化幅度甚至超过了后来的间冰阶。

末次冰期间冰阶(MIS 3)中的夏季风强盛对应于冬季风衰弱,与黄土高原相似,气候温暖湿润(李玉梅等,2003)。从间冰阶向晚冰阶转变时,邛山黄土指示了夏季风减弱与冬季风加强,二者的变化基本同步,但变幅则有较大的差异。

末次冰期晚冰阶(相当于 MIS 2)早期的夏季风出现快速减弱现象,并有较大幅度的波动,而冬季风则表现为小幅度波动增强。衰弱的夏季风仅有很小幅度的波动,几乎接近于间冰阶,磁化率值变幅小于10%,而强盛冬季风则有较大变化,粗颗粒含量的变化幅度大于15%。晚冰阶中、晚期冬季风变化要比夏季风变化更为明显,它突出地显示千年—百年尺度的较大幅度振荡性增强趋势。

从末次冰期向冰后期转变的过程中,存在一次冬季风明显增强的时段,其强度达到或超过了晚冰阶早期,出现平均沉积速率最大的晚冰阶 L_1 黄土上部, $>45\mu\text{m}$ 颗粒含量为全剖面的最大值,从时间上晚于末次盛冰期,可能为 Younger Dryas 事件(Kerr, 1993)的反映。而此时磁化率曲线指示的夏季风变化并不明显。

进入冰后期即全新世以后深海和冰心的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线变化不太明显,而邛山黄土记录的约10 ka BP 来全新世最佳期的冬、夏季风仍存在千年尺度的波动。夏季风迅速增强,冬季风则相应地减弱。

图3表明,邛山黄土—古土壤的磁化率值和 $>45\mu\text{m}$ 粗颗粒含量的转折点与代表末次冰期间冰阶开始的深海氧同位素阶段3/4界线并不完全同步。深海氧同位素记录反映的是全球性气候变化或冰量变化的平均状况,因而它既不对应于磁化率反应的夏季风增强的转折点,也不对应于粗颗粒含量变化反

应的冬季风减弱的转折点,而是位于两者之间。至于末次冰期间冰阶向晚冰阶气候转变的氧同位素阶段2/3界线,与磁化率 $>45\mu\text{m}$ 粗颗粒组分含量曲线的转折比较一致,表明由暖期向冷期的转变具有快速变化的特点。而末次冰期向冰后期气候转变的氧同位素阶段1/2界线(12.05 ka BP),可能以冰心氧同位素记录的 Younger Dryas 事件结束为标志更为合适。YD 事件不仅有重要的古气候研究意义,而且可以作为划分更新世与全新世的气候地层学的标志。

综上所述,邛山黄土记录的短时间尺度古季风振荡的频率和幅度都超过了冰心和深海沉积记录的古气候变化。由磁化率标志的夏季风气候变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 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反映。由粒度记录的冬季风气候变化在振荡频率和幅度上均与格陵兰冰心记录的千年尺度的古气候变化有较多的相似性,说明东亚冬季风的盛衰在很大程度上受控于包括冰盖在内的高纬地区的气候变化。由于海洋记录更多的是显示全球性变化,其对古气候变化的敏感性远不如东亚大陆风尘记录,只能在万年尺度上进行对比。邛山黄土记录的短时间尺度古季风变化,更多地反映了区域性特征。

4 古季风强度代用指标的讨论

一般认为,黄土—古土壤序列的磁化率是夏季风的代用指标,粗颗粒组分含量的变化则是冬季风的代用指标。在邛山黄土地层序列中,黄土层的磁化率值多在 $30\times 10^{-8}\text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右,古土壤层的磁化率峰值则变化于 $70\times 10^{-8}\sim 170\times 10^{-8}\text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间(图2)。值得注意的是,末次间冰期 S_1 以及末次冰期间冰阶 L_1SS_1 古土壤的磁化率值明显较 S_2 及以下古土壤的磁化率偏低,这很大程度上是由古土壤的沉积速率偏大而造成磁化率值相对偏低。因而,对于加积型古土壤而言,磁化率值所指示的成壤作用强度,不只是简单地反映间冰期夏季风的强度,同时也受到沉积速率变化的影响。单位时间成壤作用产生的磁性矿物所决定的磁化率通量,才是表征夏季风强度的代用指标。

邛山黄土的黄土—古土壤序列粗颗粒组分含量与磁化率值的变化不完全一致,特别是在气候由冷期向暖期转变的时段表现更为突出,出现冬季风变化早于夏季风变化的不协调现象,两者之间存在着一定的时间差。究其原因,冬季风的盛衰可以直接影

响粗颗粒含量的多寡,而夏季风气候变化则需要由磁化率值高低来反映,但由于古土壤成壤作用的滞后效应,使得磁化率值的变化表现为略晚于粗颗粒含量的变化。夏季风的增强与冬季风的减弱不同步现象,可能只是与它们各自采用了不同的代用指标有关,不完全具备可比性。

参 考 文 献

- 安芷生, Kukla G, 刘东生. 1989. 洛川黄土地层学. 第四纪研究, (2): 155~168.
- 安芷生, 吴锡浩, 汪品先, 等. 1991a. 最近130ka中国的古季风—古季风记录. 中国科学(B辑), 34(10): 1076~1081.
- 安芷生, 吴锡浩, 汪品先, 等. 1991b. 最近130ka中国的古季风—古季风变迁. 中国科学(B辑), 34(11): 1209~1215.
- 丁仲礼, 刘东生. 1989. 中国黄土研究新进展, (一) 黄土地层. 第四纪研究, (1): 24~35.
- 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 1997. 郑州邙山桃花峪高分辨率晚更新世黄土地层. 地质力学学报, 3(2): 8~14.
- 蒋复初, 吴锡浩, 孙东怀, 等. 1998. 中原邙山黄土地层. 地质力学学报, 4(4): 12~18.
- 李玉梅, 刘东生, 吴文祥, 等. 2003. 黄土高原马兰黄土记录的 MIS 3 温湿气候. 第四纪研究, 23(1): 89~76.
- 刘东生, 丁仲礼. 1990. 中国黄土研究新进展, (二) 古气候与全球变化. (1): 1~9.
- 刘嘉麒, 陈铁梅, 袁高众, 等. 1994. 渭南黄土剖面的年龄测定及十五万年来高分辨率时间序列的建立. 第四纪研究, (3): 193~202.
- 吴锡浩, 蒋复初, 王苏民, 等. 1998. 关于黄河贯通三门峡东流入海问题. 第四纪研究, (2): 188.
- 赵希涛, 曲永新, 李汉青, 等. 1997. 河南荥阳孤柏嘴剖面黄土—古土壤序列与高分辨率 S_1-L_1 地层的初步研究. 见: 刘嘉麒, 袁宝印, 主编. 中国第四纪地质与环境——庆贺刘东生院士八十五华诞暨从事地质工作五十五周年文集. 北京: 海洋出版社, 68~78.
- Research, 36: 29~36.
- Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B, et al. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250 kyr ice-core record. Nature, 364: 218~220.
- Ding Zhongli, Liu Tungsheng, 1989. Progresses of loess research of China (Part 1): loess stratigraphy. Quaternary Sciences, 1: 24~35 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Fuchu, Wu Xihao, Xiao Huaguo. 1997. The high-resolution late Pleistocene loess stratigraphy in Taohuayu, Mangshan, Zhenzhou. Journal of Geomechanics, 3(2): 8~14 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Fuchu, Wu Xihao, Sun Donghuai. 1998. On Mangshan loess stratigraphy in China central plains. Journal of Geomechanics, 4(4): 12~18 (in Chinese with English abstract).
- Kerr R A. 1993. How ice age climate got the shake. Science, 260: 890~892.
- Kukla G, Heller F, Liu X M, Xu T C, Liu T S, An Z S. 1989. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility. Geology, 16: 811~814.
- Liu Jiaqi, Chen Tiemei, Nie Gaozhong, et al. 1994. Datings and reconstruction of the high resolution time series in the Weinan loess section of the last 150000 years. Quaternary Sciences, 3: 193~202 (in Chinese with English abstract).
- Liu Tungsheng, Ding Zhongli. 1990. Progresses of loess research in China (Part 2): Paleoclimatology and globe change. Quaternary Sciences, 1: 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Li Yumei, Liu Tungsheng, Wu Wenxiang. 2003. Paleoenvironment in Chinese Loess Plateau during MIS 3: evidence from Manlan Loess. Quaternary Sciences, 23(1): 89~76 (in Chinese with English abstract).
- Martinson D G, Pisias N G, Hays J D, Imbrie J, Moore T C, Shackleton N J. 1987. Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: Development of a high-resolution 0 to 300000 year chronostratigraphy. Quaternary Research, 27: 1~29.
- Porter S C, An Zhisheng. 1995. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation. Nature, 375: 305~308.
- Wu Xihao, Wang Sumin, An Zhisheng, et al. 1995. Mangshan loess and its prospects for study of Past Global Changes. Scientia Geologica Sinica, Supplementary Issue, (1): 115~120.
- Wu Xihao, Jiang Fuchu, Wang Shumin, et al. 1998. Essays on the time of the Yellow River run-through the Sanmenxia Gorge into sea (in Chinese). Quaternary Sciences, 2: 188 (in Chinese).
- Xiao J L, Zheng H B, Zhao H. 1992. Variation of winter monsoon intensity on the Loess Plateau, central China during the last 130000 years: Evidence from grain size distribution. Quaternary Research, 31: 13~19.
- Zhao Xitao, Qu Yongxin, Li Hanqing, et al. 1997. The loess—paleosol sequence in Gubaizui section, Xingyang, Henan and preliminary study on high-resolution S_1-L_1 strata. In: Liu Jiaqi, Yuan Baoyin, eds. Quaternary Geology and Environment in China—Congratulations on the 80-year birthday of Liu Tungsheng academician and on engaged in geological work for fifty years. Beijing: Ocean Press, 68~78 (in Chinese).

References

- An Zhisheng, Kukla G, Liu Tungsheng. 1989. Loess stratigraphy in Luochan of China. Quaternary Sciences, 2: 155~168 (in Chinese with English abstract).
- An Zhisheng, Liu Tungsheng, Lu Yanchou, et al. 1990. The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess—paleosol sequence in central China. Quaternary International, 7/8: 91~95.
- An Zhisheng, Wu Xihao, Wang Pinxian, et al. 1991a. Paleomonsoons of China over the last 130000 years—Paleomonsoon records. Science in China (Series B), 34(10): 1076~1081 (in Chinese).
- An Zhisheng, Wu Xihao, Wang Pinxian, et al. 1991b. Paleomonsoon in China over the last 130000 years—Paleomonsoon variation. Science in China (Series B), 34(10): 1209~1215 (in Chinese).
- An Z S, Kukla G, Porter S C, Xiao J L. 1991. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130000 years. Quaternary

The Mangshan Loess in Central China and Paleomonsoon Characteristic since the Last Interglacial Stage

JIANG Fuchu^{1, 2)}, WANG Shubing¹⁾, ZHAO Zhizhong¹⁾, FU Jianli¹⁾

1) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*

2) *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi, 710075*

Abstract

The Mangshan Yuan is a loess platform on the southern bank of the Yellow River, which is located in northwestern Zhengzhou of Henan Province, China. The typical Zhaoxiayu section of the Mangshan Yuan preserves stratigraphical loess units above S_{10} with a total thickness of 172.1 m, which includes 15.7 m of the last interglacial paleosol S_1 , 77.3 m of the last glacial loess L_1 that consist of 41.6 m of the late stade L_1LL_1 , 13.2 m of the interstade L_1SS_1 and 22.5 m of the early stade L_1LL_2 . Based on the age marking points by correlating magnetic susceptibility of the section with the SPECMAP curve, the timescale of the section was constructed, and the average accumulation rate and the resolution of each loess strata over the S_2 were subsequently calculated using the susceptibility age model. The results indicate that strata units developed in the glacial, interglacial stages, stadial and interstadial show substantial differences in grain size, average accumulation rate and time resolution in the Zhaoxiayu section. Specifically, the average accumulation rate of the loess L_1LL_1 is 3.45 mm/a, whereas that of paleosol S_1 is only 0.28 mm/a. Based on the high-resolution records of magnetic susceptibility and $>45 \mu\text{m}$ fraction percentage of the loess-paleosol, the summer and winter monsoon variations as well as their interrelations since the last interglaciation have been discussed, which were correlated with the SPECMAP and the GRIP climate records.

Key words: loess; magnetic susceptibility; grain size; paleomonsoon; Mangshan, Henan Province