

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

# 陕西关中晚更新世黄土-古土壤序列特征 及其记录的古环境变迁

雷祥义 岳乐平

(西北大学地质系, 西安)

**内容提要** 陕西关中盆地的泾阳南塬和西安东郊席王晚更新世黄土剖面底部的  $S_1$  古土壤是由4层古土壤及与其相间的3层黄土构成,  $L_1$  黄土是由3层黄土及夹于其间的两层古土壤构成。这是目前发现的黄土高原晚更新世黄土-古土壤序列保存较好的剖面。两剖面的地层结构、磁化率曲线和地球化学组分反映出的12个温湿、冷干气候变化阶段可以归纳为6个气候变化旋回。这是目前建立的我国黄土高原晚更新世(130—10 ka B P)较短时间尺度的气候变化模式, 它与经典的深海氧同位素记录曲线是不相一致的。

**关键词** 晚更新世 黄土-古土壤序列 磁化率 地球化学 气候旋回 环境变迁

中国黄土高原晚更新世黄土地层及其记录的环境演变已有较多研究<sup>[1-5]</sup>。从目前资料来看, 末次间冰期形成的古土壤  $S_1$  最多被分成3层, 只有甘肃临夏北塬和陕西榆林蔡家沟剖面中  $S_1$  之间可明显见到两个黄土层, 分别可对应于深海氧同位素阶段5的5个亚阶段(a, b, c, d, e); 末次冰期堆积的黄土  $L_1$  中一般夹有1—2层弱发育的土壤层, 目前普遍将其分成3部分, 即上、下两个黄土层分别对应于深海氧同位素阶段2和4, 中间的土壤(一层或两层)对应阶段3。这些研究结果认为, 晚更新世黄土剖面记录的古气候变化与深海沉积的氧同位素记录曲线是吻合的。近年来, 笔者在陕西关中盆地的泾阳南塬和西安东郊席王剖面中发现,  $S_1$  古土壤至少是由4层古土壤和夹于其间的3层黄土构成,  $L_1$  黄土夹有两层弱发育的古土壤。这样, 关中盆地晚更新世黄土地层更大的可能性是分成12个次级地层单位(即  $S_1$  可分为4层古土壤和3个与其相间的黄土层,  $L_1$  可分为3层黄土和两个与其相间的古土壤层)。保存如此完好的  $S_1$  古土壤在黄土高原尚属首次发现。因此, 深入研究这两个剖面中的古环境信息, 不仅有助于进一步揭示黄土高原晚更新世气候演变规律, 而且还有助于了解古全球环境变化特征。

## 1 晚更新世黄土-古土壤地层序列

笔者对关中盆地泾阳南塬和西安东郊席王晚更新世黄土剖面进行了研究。泾阳南塬是渭北黄土台塬的组成部分。剖面位于泾阳县城南边的蒋刘乡河滩村(34°26'N, 108°53'E), 晚更新世地层厚约11.9m。包括: 全新世  $L_0$  黄土状土和  $S_0$  黑垆土, 厚约1.1m;  $L_1$  黄土厚约7.9m, 夹有两层灰棕色古土壤;  $S_1$  古土壤厚3.1m左右, 由4层古土壤和与其相间的3层肉红色黄土构成。  $S_1$  古土壤之下为中更新世晚期厚层黄土( $L_2, Q_2^2$ )。西安东郊席王乡枣园刘村(34°17'N,

注: 本文为国家自然科学基金资助项目部分研究成果(编号49472132)。

本文1996年5月收到, 1997年3月改回, 周健编辑。

109°04'E)剖面晚更新世地层厚约 11.4m,地层结构与泾阳南塬剖面完全相同。上述两剖面的  $L_1$  黄土可分为 5 部分,即  $L_{1-1}$ ,  $S_{0-1}$ ,  $L_{1-2}$ ,  $S_{0-2}$  和  $L_{1-3}$ ,这与白鹿塬刘家坡<sup>[6]</sup>、武功尚家坡<sup>[7]</sup>等剖面中  $L_1$  黄土的结构完全一致。 $S_1$  古土壤可以分为 4 层,即  $S_{1-1}$ ,  $S_{1-2}$ ,  $S_{1-3}$  和  $S_{1-4}$ ,其中  $S_{1-4}$  的发育程度较高,且厚度较大, $S_1$  古土壤层中所夹的 3 层黄土( $S_1L_{1-1}$ ,  $S_1L_{1-2}$  和  $S_1L_{1-3}$ )虽然较薄(一般厚 15—45cm 左右),但在野外清楚可见。从成土特征论,它们的发育程度差异较大。 $L_{1-1}$ ,  $L_{1-2}$  和  $L_{1-3}$  呈淡灰黄色,颗粒较细, <0.002mm 的粘土物质含量一般不高于 45%,疏松,富大孔隙,质地均一,垂直节理发育,原生碳酸盐矿物只在土体内发生淋溶; $S_1L_{1-1}$ ,  $S_1L_{1-2}$  和  $S_1L_{1-3}$  呈肉红色,团块结构,粘粒含量较高,达 45%—48%,富含次生碳酸钙,如钙结核、钙膜或钙丝。 $S_{0-1}$  和  $S_{0-2}$  呈灰棕色—灰褐色,具团块结构,粘粒物质含量一般为 47%—50%,底部钙质富集,见钙质小结核; $S_1$  的各层土壤淋滤粘化显著,具棱柱构造,粘粒物质含量达 50%以上,铁锰质粘粒胶膜连续分布,各层底部均见钙质结核。黄土经受的风化成土作用强度往往与夏季风的强度密切相关<sup>[4]</sup>。因此,上述剖面中 6 层古土壤( $S_{1-4}$ ,  $S_{1-3}$ ,  $S_{1-2}$ ,  $S_{1-1}$ ,  $S_{0-2}$ ,  $S_{0-1}$ )与 6 层黄土( $S_1L_{1-3}$ ,  $S_1L_{1-2}$ ,  $S_1L_{1-1}$ ,  $L_{1-3}$ ,  $L_{1-2}$ ,  $L_{1-1}$ )交替出现,既反映了黄土高原晚更新世期间温湿—冷干气候的频繁交替变化,也是夏季风强弱波动的真实记录。

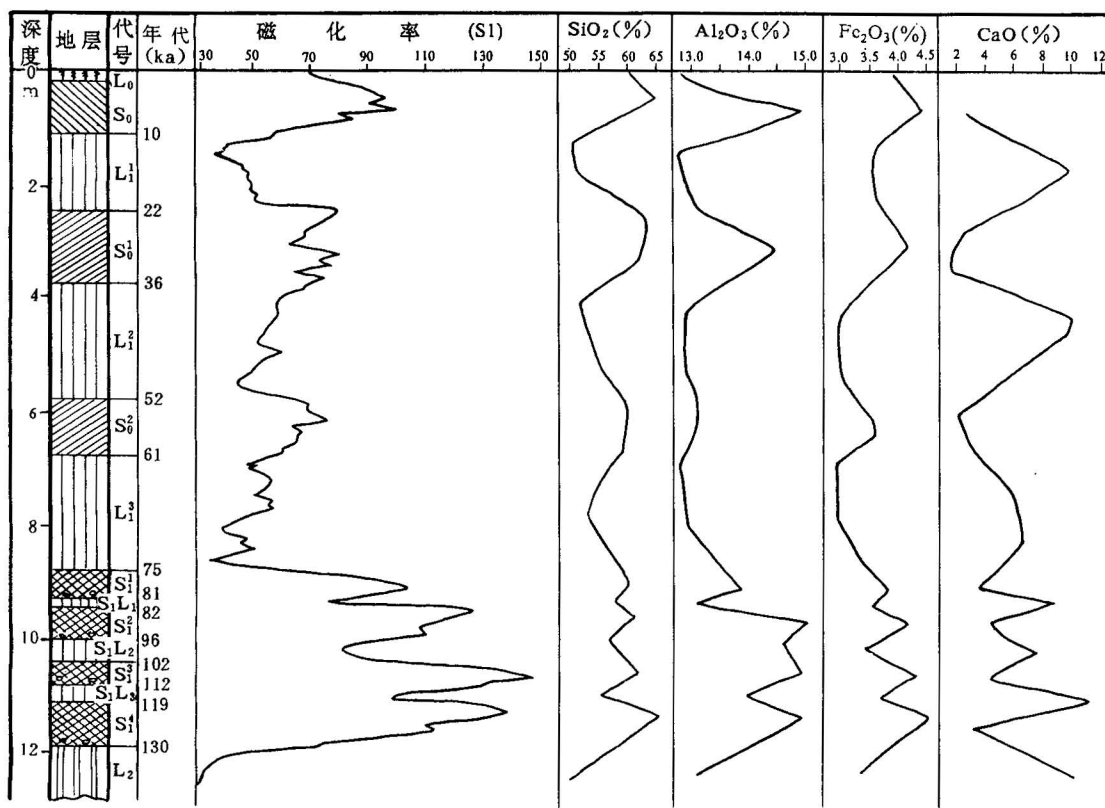


图 1 泾阳南塬晚更新世黄土剖面磁化率及主要成分曲线

Fig. 1 The comparisons of the curves of susceptibility and main geochemical contents of the Late Pleistocene loess section in Nanyuan, Jingyang

2 磁化率与气候变迁

泾阳南塬剖面中的磁化率曲线(图 1)是在一个新鲜的滑坡壁上以 10cm 为间隔从上到下依次测量所得。如图 1 所示, $S_1$  古土壤层中出现了 4 个磁化率值大于 100SI 的高峰段落, $L_1$  黄土层中出现了两个磁化率值大于 60SI 的高峰段落,另一个磁化率值高峰段落出现在全新世  $S_0$  黑垆土层中。西安席王剖面中的磁化率曲线(图 2)是在一个人工陡壁的新鲜面上以 10cm 间隔从上到下依次测量获得的。从图中可以看出, $S_1$  有 4 个磁化率大于 90SI 的峰值段落, $L_1$  有两个磁化率大于 70SI 的峰值段落, $S_0$  有一个磁化率大于 80SI 的峰值段落。席王剖面磁化率曲线显示的特征与泾阳南塬剖面的完全一致。

图 1 和图 2 中的年代是根据黄土现有测年数据,分别确定  $S_1$  底部为 130 ka B P ,顶部为 75 ka B P<sup>[8,9]</sup>, $S_0$  底部为 10 ka B P (全新世起始年龄),再按 Kukla 等<sup>[10]</sup>提出的磁化率年龄公式转换而来。可以看出,南塬与席王两剖面中各相应段落的起始和终止年代是基本一致的。

上述两剖面中,7 个古土壤层均对应于磁化率曲线的波峰,而 6 个黄土层则对应于波谷,规律性十分明显。两剖面的磁化率曲线均较好地反映了黄土高原最近 130 ka 气候温湿—冷干的波动规律,也指示黄土高原最近 130 ka 以来至少有过 7 个夏季风环境效应突出的时段。

3 地球化学特征与气候变迁

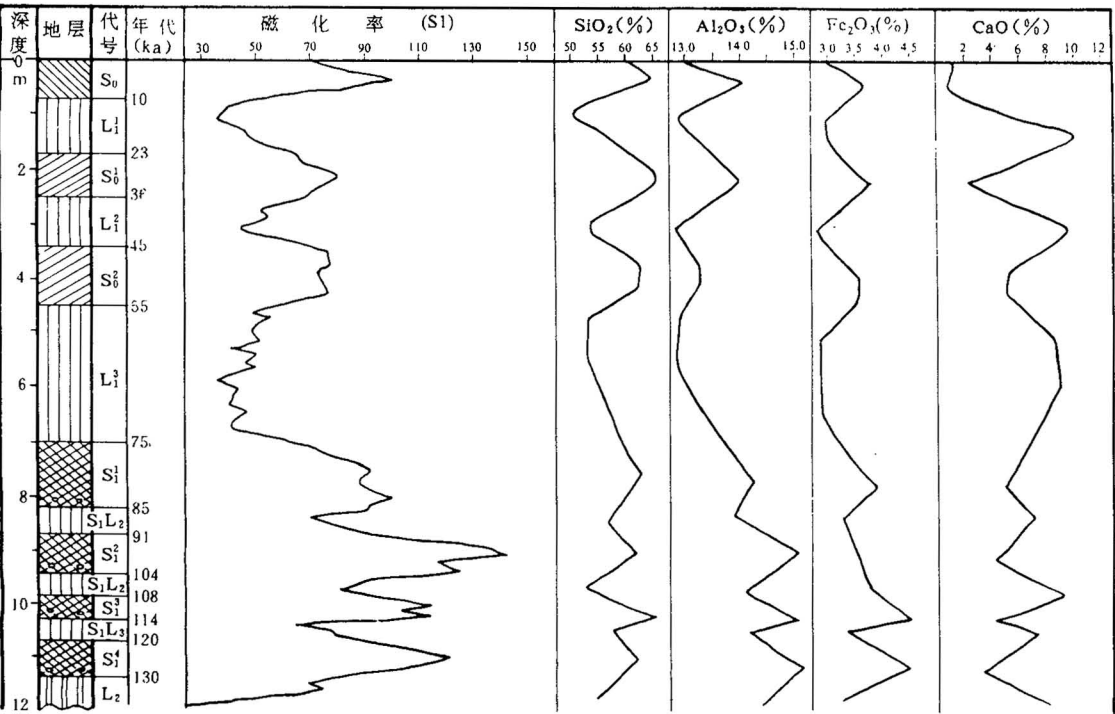


图 2 西安席王晚更新世黄土剖面磁化率及主要成分曲线  
Fig. 2 The comparisons of the curves of susceptibility and main geochemical contents  
of the Late Pleistocene loess section in Xiwang, Xi'an

泾阳南塬和西安席王两剖面中黄土的主要成分呈现一定的分布规律。 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  在黄土层中含量低, 在古土壤层中含量高, 而  $\text{CaO}$  含量则相反(图 1, 2)。黄土化学成分的这种分布规律是由古气候环境决定的。黄土是在干冷气候条件下堆积的, 植被不良, 风化成土作用微弱, 原生  $\text{CaCO}_3$  很少或几乎没有被淋失; 古土壤形成时的气候温湿, 植被茂密, 风化成壤作用较强,  $\text{CaCO}_3$  几乎全部被淋失, 稳定成分相对富集。关中盆地晚更新世黄土和古土壤地球化学特征反映的气候交替变化的规律与磁化率记录的气候变化特征是完全一致的。

#### 4 古气候旋回

上述关中盆地晚更新世黄土地层结构、磁化率曲线和地球化学特征反映出的 12 个温湿、冷干气候变化阶段可以归纳为 6 个温湿—冷干气候变化旋回(表 1): 旋回 I 对应  $S_{1-4}$  和  $S_1L_{1-3}$ , 约 130—113 ka BP; 旋回 II 对应  $S_{1-3}$  和  $S_1L_{1-2}$ , 约 113—100 ka BP; 旋回 III 对应  $S_{1-2}$  和  $S_1L_{1-1}$ , 约 100—83 ka BP; 旋回 IV 对应  $S_{1-1}$  和  $L_{1-3}$ , 约 83—58 ka BP; 旋回 V 对应  $S_{0-2}$  和  $L_{1-2}$ , 约 58—36 ka BP; 旋回 VI 对应  $S_{0-1}$  和  $L_{1-1}$ , 约 36—10 ka BP。由上述可知, 我国黄土高原晚更新世气候旋回周期幅度有随时间推移而增长的趋势。

关中盆地晚更新世气候变化模式以显示了较短时间尺度的温湿—冷干波动而不同于目前建立的黄土高原晚更新世 4 个气候旋回模式<sup>[1, 11]</sup>, 它也不完全符合深海沉积氧同位素 5 个阶段<sup>[12]</sup>。从现有年代数据粗略对比发现, 深海氧同位素阶段 5 的 5d—5c 亚段之间可能缺失关中黄土剖面记录的气候旋回 II; 在阶段 3—2 之间可能缺失 VB(冷干)和 VI A(温湿)两个阶段(表 1)。应该指出, 关中盆地晚更新世黄土剖面记录的环境变化模式与经典的深海沉积氧同位素曲线的更精确的对比细节问题还需进一步研究。

表 1 陕西关中盆地晚更新世环境过程及气候旋回

Table 1 The paleoenvironmental and paleoclimatic changes during Late Pleistocene in Guanzhong Basin, Shaanxi Province

| 时代                                    | 阶段                           | 年代<br>(ka B P) | 地 层                                  | 土壤类型   | 气候特点       | 冰期划分  |     | 气候旋回 |   |    |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------|------------|-------|-----|------|---|----|
| 晚<br>更<br>新<br>世<br>(Q <sub>3</sub> ) | Q <sub>3</sub> <sup>12</sup> | 10.0           | 黄土(L <sub>1-1</sub> )                | 灰钙土    | 寒冷干旱       | 末次冰期  | 冰 阶 | VI   | B | 2  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>11</sup> | 23.0           | 古土壤(S <sub>0-1</sub> )               | 黄绵土—褐土 | 暖温带半湿润—半干旱 |       | 间冰阶 |      | A | ?  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>10</sup> | 36.0           | 黄土(L <sub>1-2</sub> )                | 灰钙土    | 寒冷干旱       |       | 冰 阶 | V    | B | ?  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>9</sup>  | 49.0           | 古土壤(S <sub>0-2</sub> )               | 黄绵土—褐土 | 暖温带半湿润—半干旱 |       | 间冰阶 |      | A | 3  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>8</sup>  | 58.0           | 黄土(L <sub>1-3</sub> )                | 灰钙土    | 寒冷干旱       | 末次间冰期 | 冰 阶 | IV   | B | 4  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>7</sup>  | 75.0           | 古土壤(S <sub>1-1</sub> )               | 褐土—棕壤  | 暖温带半湿润     |       | 间冰阶 |      | A | 5a |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>6</sup>  | 83.0           | 黄土(S <sub>1</sub> L <sub>1-1</sub> ) | 黄绵土    | 寒冷干旱       |       | 冰 阶 | III  | B | 5b |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>5</sup>  | 87.0           | 古土壤(S <sub>1-2</sub> )               | 褐土—棕壤  | 暖温带半湿润—湿润  |       | 间冰阶 |      | A | 5c |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>4</sup>  | 100.0          | 黄土(S <sub>1</sub> L <sub>1-2</sub> ) | 黄绵土    | 寒冷干旱       |       | 冰 阶 | II   | B | ?  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>3</sup>  | 105.0          | 古土壤(S <sub>1-3</sub> )               | 棕壤     | 暖温带湿润      |       | 间冰阶 |      | A | ?  |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>2</sup>  | 113.0          | 黄土(S <sub>1</sub> L <sub>1-3</sub> ) | 黄绵土    | 寒冷干旱       |       | 冰 阶 | I    | B | 5d |
|                                       | Q <sub>3</sub> <sup>1</sup>  | 120.0          | 古土壤(S <sub>1-4</sub> )               | 棕壤     | 暖温带湿润      |       | 间冰阶 |      | A | 5e |
|                                       |                              |                | 130.0                                |        |            |       |     |      |   |    |

注: 年代是泾阳南塬和西安席王两剖面各相应段落所占据时间的平均值。

#### 5 结语

综上所述, 关中盆地晚更新世剖面中, 约在 130—75 ka BP 时段(末次间冰期)形成的  $S_1$  古土壤可以划分出 4 个古土壤层和 3 个与其相间的黄土层, 75—10 ka BP 时段(末次冰期)堆

积的  $L_1$  黄土可以划分出 3 层黄土和两层弱发育的土壤。剖面中 7 个古土壤层(包括  $S_0, Q_4$ )均对应磁化率峰值段落,其  $SiO_2, Al_2O_3$  和  $Fe_2O_3$  含量高,而  $CaO$  含量低;6 个黄土层均对应磁化率的波谷段落,其  $SiO_2, Al_2O_3$  和  $Fe_2O_3$  含量低,而  $CaO$  含量高。这些特征反映出的我国黄土高原晚更新世 6 个温湿—冷干气候变化旋回当是古全球环境变化在区域上的效应。因此,关中盆地晚更新世黄土剖面的地质记录对过去全球气候和环境变化研究具有重要作用。

## 参 考 文 献

- 1 安芷生,Porter S,Kukla G,肖举乐.最近 13 万年黄土高原季风变迁的磁化率证据.科学通报,1990,35(7):529—531.
- 2 李吉均.中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式.第四纪研究,1990,(3):197—204.
- 3 康建成,李吉均.甘肃临夏黄土剖面:15 万年环境演变的良好记录.地质论评,1993,39(2):165—175.
- 4 刘东生,丁仲礼.二百五十万年来季风环流与大陆冰量变化的阶段性耦合过程.第四纪研究,1992,(1):12—23.
- 5 孙继敏,丁仲礼,刘东生,袁宝印,刘嘉麒.末次间冰期以来沙漠—黄土边界带的环境演变.第四纪研究,1995,(2):117—122.
- 6 雷祥义.黄土高原南部晚更新世黄土地层划分、显微结构及力学性质特征.第四纪研究,1992,(2):118—135.
- 7 黄春长.黄土高原南部晚更新世黄土古土壤与气候变迁.地理学报,1989,44(1):1—10.
- 8 刘东生等.黄土与环境.北京:科学出版社,1985.303—322 页.
- 9 Lu Y C,Prescott J R,Robertson C B, Hutton J T. Thermoluminescence dating of the Malan loess at Zhaitang, China. Geology, 1987, 15: 603—605.
- 10 Kukla G, Heller F, Liu X M, Xu T C, Liu T S, An Z S. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility. Geology, 1988, 16: 811—814.
- 11 安芷生,吴锡浩,汪品先,王苏民,董光荣,孙湘君,张德二,卢演传,郑绍华,赵松龄.最近 130 ka 中国的古季风—Ⅱ古季风变迁.中国科学(B 辑),1991,(1):1209—1215.
- 12 Prell W L, Imbrie J, Martinson D G, Morley J J, Pisias N G, Shackleton N J, Streeter H F. Graphic correlation of oxygen isotope stratigraphy application to the Late Quaternary. Paleoceanography, 1986, 1: 137—162.

## THE CHARACTERISTICS OF THE LATE PLEISTOCENE LOESS-PALEOSOL SEQUENCE AND THEIR RECORDS OF PALEOENVIRONMENTAL CHANGES IN GUANZHONG, SHAANXI

Lei Xiangyi and Yue Leping

(Department of Geology, Northwest University, Xian, Shaanxi)

### Abstract

In Nanyuan of Jingyang ( $34^{\circ}28'N$  and  $108^{\circ}53'E$ ) and Xiwang of Xi'an ( $34^{\circ}17'N$  and  $109^{\circ}04'E$ ), Guanzhong, Shaanxi Province, the Late Pleistocene loess-paleosol sequence is best preserved and typical in the Loess Plateau of China at present. In the loess sections,  $S_0$  is the top layer 1.1—1.5 m thick.  $L_1$ , 6.5—7.9 m thick, consists of 3 loess beds and 2 paleosol beds intercalated in between.  $L_1$  and  $S_1$  have gradational relationship.  $S_1$ , 3.1—4.5 m thick is composed of 4 paleosol beds and 3 loess beds arranged alternately. Studies of stratigraphical structure, magnetic susceptibility and geochemical characteristics of the above-mentioned sections show that there were twelve stages of warm-humid and cold-arid climatic changes which belong to six climatic cycles during the Late Pleistocene in the Loess Plateau of China. It is a shorter time-scale pattern of climatic changes during the Late Pleistocene (130—10 ka B P) in the Loess plateau of

China at present. It does not correspond with the deep-sea oxygen isotopic stages.

**Key words:** Late Pleistocene, loess-paleosol sequence, susceptibility, geochemistry, climatic cycle, environmental change

### 作 者 简 介

雷祥义,男,1942年生。1968年毕业于西北大学地质系,1982年在该校获第四纪地质学硕士学位。现任西北大学地质系教授,从事第四纪环境变迁及环境地质的教学和科研工作。通讯地址:陕西省西安市环城南路西段71号 西北大学地质系,邮政编码:710069。

---