

黄土高原最老红粘土的发现及其地质意义

宋友桂, 李吉均, 方小敏
(兰州大学地理科学系, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 黄土高原红粘土的形成演化与青藏高原隆起、亚洲季风形成演化等有着十分密切的关系。黄土高原中部厚达 303 m 的朝那黄土—红粘土剖面的古地磁年代学表明红粘土形成于 8.1 Ma, 是目前黄土高原上发现的最老的红粘土沉积。这个事实表明大约在 8.1 Ma 本区构造活动频繁, 断裂十分发育, 使得鄂尔多斯夷平面解体, 六盘山地区呈断块上升, 而六盘山以东地区下沉接受红粘土沉积。这可能指示了毗邻的青藏高原有一次显著的构造隆升。

关键词: 黄土—红粘土序列; 磁性地层; 夷平面; 地质意义

中图分类号: P539; P546

文献标识码: A

黄土高原第四纪黄土之下广布着厚度由几十米到上百米的红粘土沉积, 这套沉积较完整地记录了晚新生代的環境变化, 它的形成演化与青藏高原的隆起、亚洲季风形成、北半球冰量变化、北方干旱化等息息相关, 因而倍受国内外学者的关注, 成为了研究长序列古全球变化的焦点^[1~10]。但由于各剖面位置不同, 厚度不一, 形成年代亦不同, 各学者对红粘土形成机制和所反映的环境事件存在着争论, 如红粘土的形成与青藏高原隆升有何关系以及是否代表亚洲季风开始形成等问题。本文以最近在六盘山以东、黄土高原中部发现的厚 303 m 的朝那黄土—红粘土剖面的磁性地层研究结果为基础, 探讨了红粘土的形成及其与青藏高原隆升的关系。

1 构造地质背景与剖面特征

黄土高原以六盘山为界, 分为东西两部分, 六盘山是一条十分重要的地质和地理界线, 也是中国乃至全球环境变化的敏感带。在大地构造上其东、北面为较稳定的鄂尔多斯地台和阿拉善地台; 而西、南为青藏高原东北缘构造活跃的祁连山褶皱带和秦岭褶皱带^[11], 区域构造上, 六盘山东侧为 NW—SE 向的六盘山逆冲断裂, 它受制于青藏高原东北部的阿尔金—北祁连山深大断裂(图 1a)。因此在构造上六盘山为青藏高原东北变形区, 与青藏高原有密切的关系。六盘山西侧为北秦岭和海源大断裂构成的

巨型新生代陇中盆地。而六盘山以东黄土高原基底为稳定的鄂尔多斯地台(块), 从晚中生代以来一直处于缓慢的构造抬升和剥蚀状态, 形成夷平面^[12]。一般认为红粘土沉积于夷平面瓦解之后, 因此通过研究红粘土的形成年代可推出夷平面的解体年代, 而夷平面的解体与青藏高原的隆起有着密切的关系, 所以研究夷平面的解体过程可以为青藏高原隆起提供直接证据。

朝那剖面位于六盘山东部、甘肃省灵台县朝那镇南约 5 km 处郑家什字村(图 1b), 地理位置为 107.2°E, 35.1°N, 由 3 个天然露头组成, 在野外根据岩性、标志层等特征均能较好地将它们衔接起来, 经室内磁化率、古地磁、碳酸钙、粒度等实验结果校正, 整个剖面厚约 303 m, 其中第四纪黄土—古土壤序列厚约 175 m, 发育十分典型、完整; 红粘土序列厚约 128 m; 黄土与红粘土呈逐渐过渡关系。红粘土剖面大致上可分为五大段, 从上往下依次为: 第一段(21 m 厚), 颜色总体上为棕红色, 土壤发育程度较高, 可见较多 Fe—Mn 胶膜; 其中上部含四、五层钙结核层, 中部为两层 1m 左右的黄土, 下部顶部棕红色略带发紫, 颜色最深, 往下颜色逐渐变浅, 黑斑较多, 而结核较少。第二段(24 m 厚), 总体上颜色较上一段淡, 可见五条宽 50 cm~80 cm 明显的白色结核条带。第三段(25 m 厚), 颜色为整个红粘土剖面中最红的一段, Fe—Mn 胶膜特别发育, 且分布不均, 结核十分发育, 其上部可见结核条带, 下部结核密布,

收稿日期: 2000-10-18; 改回日期: 2000-10-31。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040802)和日本冈山理科大学、京都大学联合资助。

作者简介: 宋友桂(1974-), 男(汉族), 湖南祁阳人, 博士研究生, 自然地理专业新生代环境变化研究方向, E-mail: songyg@lzu.edu.cn。

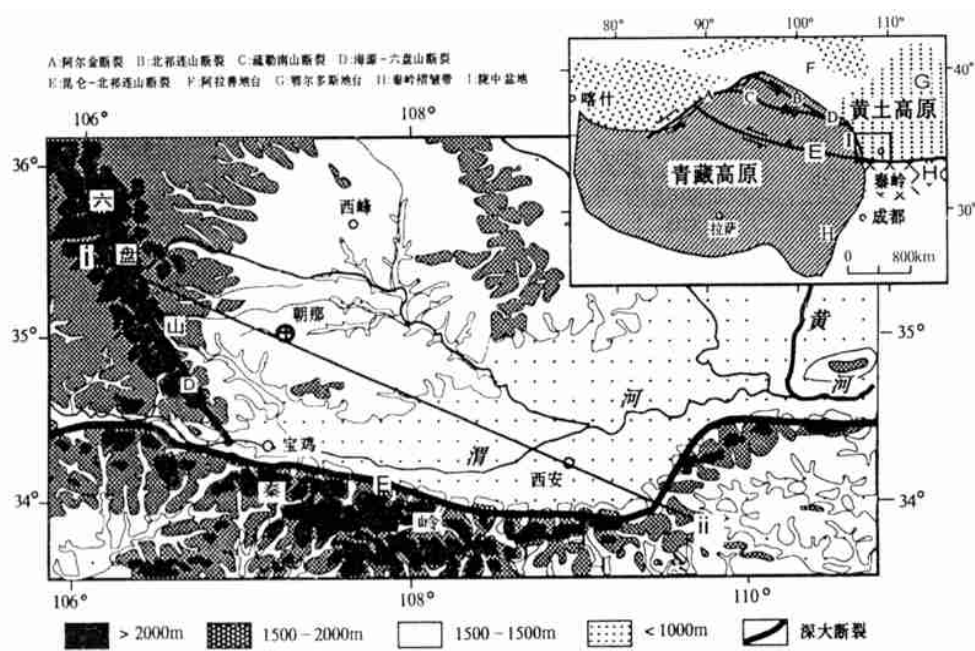


图 1-a 朝那剖面地质地貌及构造背景图

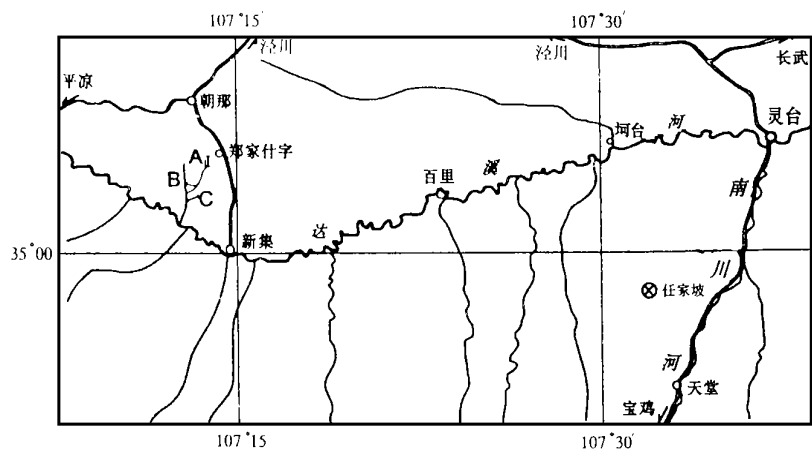


图 1-b 朝那剖面位置详图

图 1 黄土高原朝那剖面地质构造背景与位置图

Fig. 1 Location and geological tectonic background of Chaona section in the Loess Plateau

分层不明显。第四段(30 m厚), 颜色浅红, 结核零星分布, 风化较弱。第五段(28 m厚), 浅棕红色, 很少见结核, 风化程度很弱, 成壤作用不明显。红粘土底部下伏地层为下白垩统青灰色砂岩、粉砂岩互层。

我们在黄土剖面中以0.5 m~2 m和红粘土中以0.2 m~1 m的间隔共采集 400 余套定向古地磁样品(每套三个平行样), 以2 cm~20 cm间距系统采集了 3 600余个散样, 供磁化率、碳酸钙、粒度、同位素、地球化学、色度分析等用(另文发表)。

2 磁性地层

古地磁样品在中国科学院兰州地质所和中科院地球物理与地质研究所古地磁实验室测量。部分样品在日本京都大学复测。以步长2 mT~10 mT对大多数样品进行了 11~18 步系统交变退磁(AFD)直到70 mT, 部分样品以步长20 °C~100 °C进行了热退磁(TFD)测量直到700 °C。剩磁强度在美国产 DSM—2 旋转磁力仪和2 G超导磁力仪上测量。系统退磁

结果表明, 交变退磁在20 mT或热退磁在250 ℃, 一般能清除次生剩磁得到较为稳定的原生剩磁。各套样品测量的结果基本相似, 但 2G 超导磁力仪上测量结果比 DSM-2 旋转磁力仪结果要稳定, 热退磁结果比交变退磁结果要稳定和彻底。图 2 为古地磁测量的结果。从图 2d 可知整个剖面由 16 段正极性和 16 段负极性组成。N1 位于 S0 到 L8 中部之间, N2 位于 L10 顶到 L12 底之间, N3 位于 L25 顶到 S26 顶部之间, N4 位于 L31 顶到 L32 上部之间, 与黄土高原其它黄土剖面主要磁极性段在黄土、古土壤中的层位基本一样。我们认为它们依次可以与布容正极性时、贾拉米洛 (Jaramillo)、奥尔都维 (Oldvai)、尼留旺 (Reunion) 极性亚时进行对比。它们决定的 B/M 界线则位于 L8 中部, 标准极性年表^[13]中的 M/Ga 则位于 L33 中部即 175m 处。这样 N5 ~N7 可与高

斯正极性时对比, 其中 R5 和 R6 两负极性亚时则与凯纳 (Kaena) 事件和玛莫斯 (Mammoth) 事件相比。R7 ~ R11 为吉尔伯特负极性时, 其中的四个正极性亚时 (N8 ~N11) 则可分别与柯奇提 (Cochiti)、努尼瓦克 (Nunivak)、西杜夫加 (Sidufjall) 和斯维拉 (Thvera) 四个正极性亚时相比。其下部分的 5 个正极性 N12 ~N16 大致可较好地与标准极性柱的 3An ~4n 正极性相对比。这样剖面底部 R16 就基本相当于标准极性柱中 4r 的顶部, 年代大致为 8.1Ma。

4 讨 论

朝那红粘土剖面底界年龄为 8.1Ma, 是目前黄土高原发现的最老的红粘土剖面, 至少比其他报道的红粘土剖面底界年龄早 0.5Ma^[5~9], 这为研究东亚季风演化、青藏高原隆起、古全球变化等提供了更

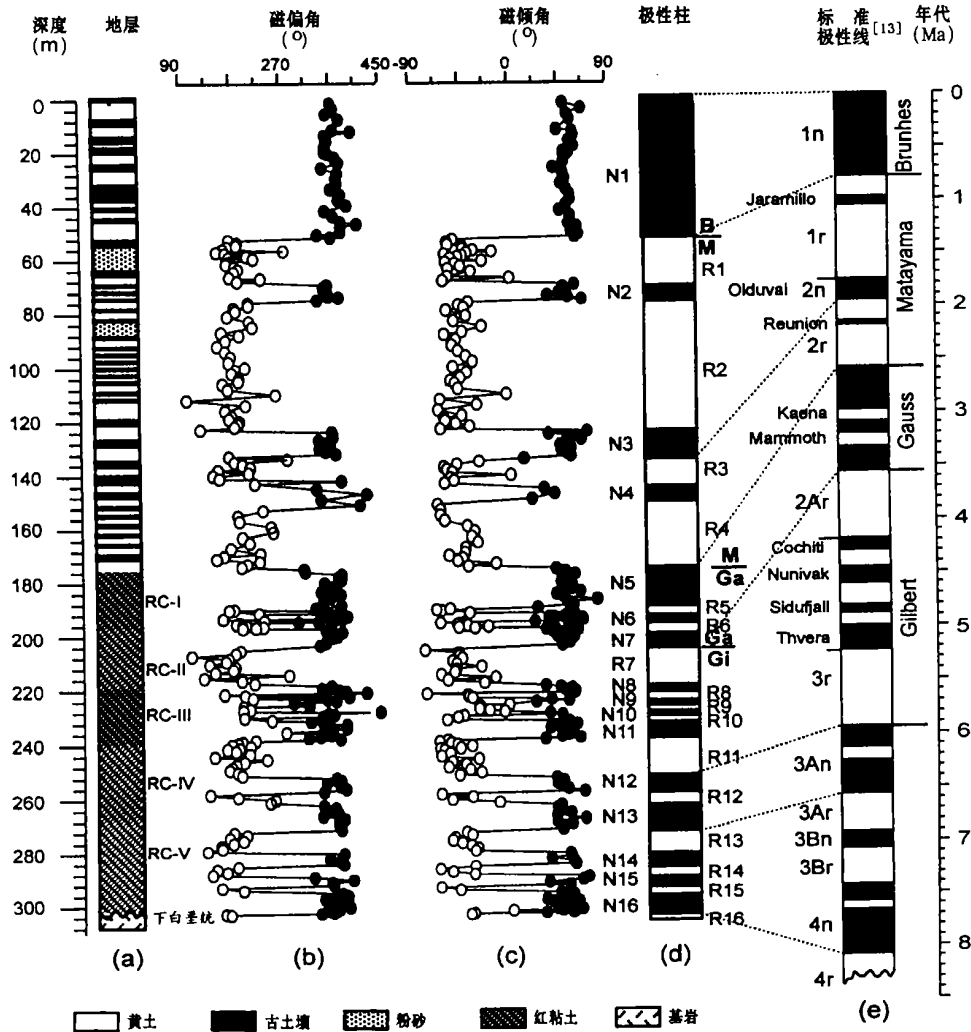


图 2 朝那黄土—红粘土剖面岩性地层和磁性地层测量结果

Fig 2 The magnetostratigraphy and lithostratigraphy of the loess-red clay sequence at Chaona

长的时间序列和高分辨率记录。同时, 这无疑为红粘土的起源和成因提供了一种全新的认识。

自从晚白垩世以来鄂尔多斯地台一直处于缓慢的剥蚀上升状态, 到中新世晚期形成一级夷平面。中新世晚期, 来自西南方向印度板块与亚欧板块所产生的强烈挤压力与西太平洋板块向西推进在六盘山地区相遇, 造成逆冲断裂十分发育如海源—六盘山逆冲断裂, 鄂尔多斯夷平面解体, 六盘山开始隆起, 六盘山西侧形成新生代陇中盆地^[14, 15], 六盘山以东地区下降, 初步形成六盘山东西地貌地层差异。由于鄂尔多斯夷平面的解体, 造成地面起伏变大, 在低洼地区较易接受红粘土沉积, 而高处遭受风化剥蚀, 很难保存红粘土。这可能是造成不同地区红粘土厚度不一, 形成年代不一样的根本原因。造成夷平面解体这一次构造运动在喜马拉雅、孟加拉湾、北

祁连山、昆仑山均有表现^[16~19], 这些说明青藏高原在 8.1Ma 前后有一次显著的隆起, 至于隆起幅度则需进一步的研究。

野外调查和已有研究成果表明红粘土序列的厚度和粒度以六盘山为中心, 呈扇形向东黄土高原地区辐射减小, 而位于六盘山山麓前缘的朝那一带则为红粘土沉积最厚的地区。在六盘山山麓夷平面上的扇砾岩构成红粘土基底, 向东基底则由扇砾岩逐渐变为砾岩、灰色砂岩、泥岩, 在华亭县安口镇的红粘土下部含有少量砾石, 至灵台朝那一任家坡一带则红粘土直接堆积于夷平面上(图 3)。同时, 即使在同一地方如西峰红粘土的厚度和年代相差很大, 这些证据至少说明在红粘土形成的初期流水作用也是十分重要的, 不能全部归为风尘堆积作用。

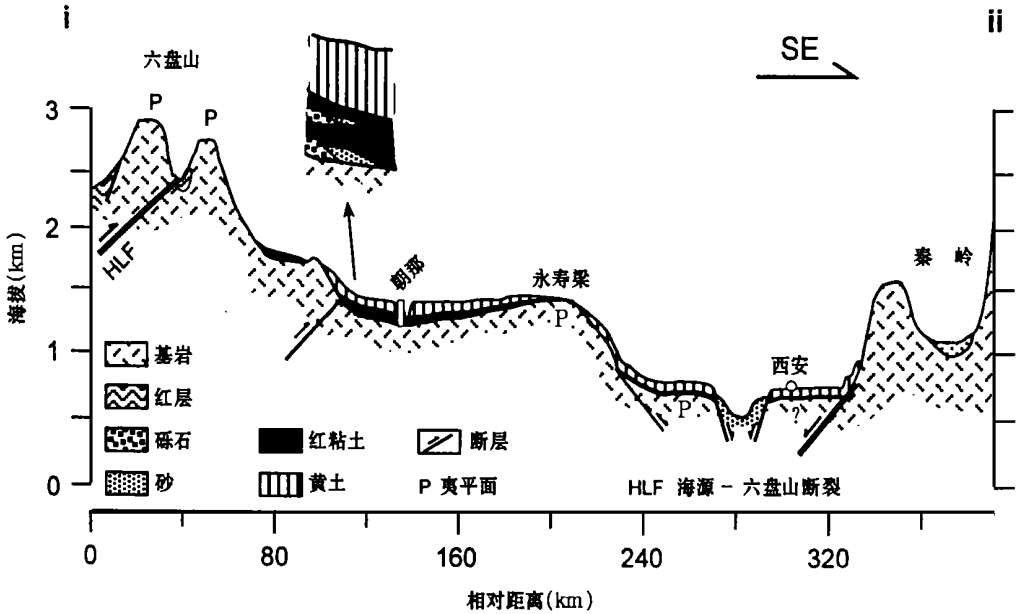


图 3 黄土高原晚新生代地质剖面图

Fig 3 Late Cenozoic geological section in Chinese loess—plateau

致谢: 鸟居雅之教授和石川尚人博士对本文提出了有益建议, 吕连清博士及傅开道、吴福莉、陈秀玲、聂军胜、杨东等参加了野外工作, 在此一并致谢。

参考文献:

[1] Evans M E, Wang Y, Rutter N W, et al. Preliminary magnetostratigraphy of the red clay underlying the loess sequences at Baoji, China [J]. *Geophysical Research Letters*, 1991, 18: 1 409~1 412.

[2] Mo D W and Derbyshire E. The depositional environment of the late Pliocene "red clay", Jine—Le Basin, Shanxi Province, China[J].

Sedimentary Geology, 1991, 70: 33~40.

[3] 方小敏, 奚晓霞, 李吉均, 等. 中国西部晚中新世气候变干事件的发现及其意义[J]. *科学通报*, 1997, 42(23): 2 521~2 524.

[4] Sun, D H, Liu T S, Cheng M Y, et al. Magnetostratigraphy and paleoclimate of red clay sequences from the Chinese Loess Plateau[J]. *Science China (D)*, 1997, 40: 337~343.

[5] Rea D K, Snoeckx H and Joseph I H. Late Cenozoic eolian deposition in the North Pacific: Asian drying, Tibetan uplift, and cooling of the northern hemisphere[J]. *Paleoceanography*, 1998, 13: 215~224.

[6] Ding Z L, Sun J M, Yang S L, et al. Preliminary magnetostratigraphy of a thick eolian red clay—loess sequence at Lingtai, the Chinese

- Loess Plateau[J]. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25: 1 225~1 228.
- [7] Ding Z L, Sun J M, Liu T S, *et al.* Wind blown origin of the Pliocene red clay formation in the Chinese Loess Plateau[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161: 135~143.
- [8] Ding Z L, Xiong X F, Sun J M, *et al.* Pedostratigraphy and paleomagnetism of a ~7.0 Ma eolian loess-red clay sequence at Lingtai, Loess Plateau, north-central China and the implications for paleomonsoon evolution [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, 152: 49~66.
- [9] Sun D H, Shaw Jan Z S, Cheng M Y, *et al.* Magnetostratigraphy and paleomagnetic interpretation of a continuous 7.2 Ma Late Cenozoic eolian sediments from the Chinese Loess Plateau[J]. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25: 85~88.
- [10] 郭正堂, 彭淑贞, 郝青振, 等. 晚第三纪中国西北干旱化的发展及其与北极冰盖形成演化与青藏高原隆升的关系[J]. 第四纪研究, 1999, (6): 556~567.
- [11] 黄汲清. 中国大地构造学[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 80
- [12] 杨景春. 中国地貌特征与演化[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. 132~134.
- [13] Cande S C, Kent D V, Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(B4): 6 093~6 095.
- [14] 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分[J]. 科学通报, 1997, 42(14): 1457~1471.
- [15] Li J J, Fang X M, Rob V D V, *et al.* Late Cenozoic magnetostratigraphy (0~11Ma) of the Dongshanding and Wangjiashan sections in the Longzhong Basin, western China[J]. *Geologie en Mijnbouw*, 1997, 76: 121~134.
- [16] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1 569~1 574.
- [17] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S, *et al.* Raising Tibet[J]. *Science*, 1992, 255: 1 663~1 670.
- [18] Burbank, W D, Louis A D, Christian F L. Reduced Himalayan sediment production 8 Myr. ago despite and intensified monsoon[J]. *Nature*, 1993, 364: 48~50.
- [19] Quade J, Roe L, Decells P G, *et al.* The late Neogene $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ record of lowland Himalayan rivers[J]. *Science*, 1997, 276: 1 828~1 831.

The Oldest Red Clay in the Chinese Loess Plateau and Its Geological Significance

SONG You-gui, LI Ji-jun and FANG Xiao-min

(Department of Geography, Lanzhou University, Lanzhou 730000 China)

Abstract: The widely distributed red clay sediments underlying the Chinese Loess Plateau record truly Neogene environmental evolution, and the initiation and development of red clay sedimentation are intrinsically related to the uplift processes of the Tibetan Plateau and the evolution of East Asia monsoon system. The red clay is regarded as a focal proxy on past global changes. In this paper, the magnetostratigraphy of a new loess-red clay section, which was found recently, and its geological significance are reported.

The new section is located at Chaona of Lingtai county (107.2°E, 35.1°N) in the central Loess Plateau. The loess-red clay deposit at Chaona is about 303 m thick. It consists of a complete Quaternary Loess-soil sequence with a thickness of about 175 m and 128 m of Late Tertiary red clay deposits. About 400 orientated block samples and 3600 bag samples were collected from this section. The magnetic remanence was measured at the Paleomagnetism Laboratory, both Lanzhou institute of Geology, CAS and institute of Geophysics and Geology, CAS. Based on the correlation with the standard geomagnetic polarity time scale, the magnetostratigraphic results indicate that the age of Chaona red clay extends to 8.1 Ma, which is at least 0.5 Ma older than previously reported, and it is the oldest red clay deposition in the Loess Plateau. The commencement of red clay at ~8.1 Ma may imply that the Ordos planation surface was broken by the movement of Haiyuan-Liupanshan Faults. And the western part adjacent to Tibetan Plateau to be uplifted to form embryo Mt. Liupanshan and the eastern part to be down-faulted to receive red clay deposition. We link this faulting to an initial uplift of the Tibetan Plateau. The undulating nature of the broken Ordos planation surface may explain the chronological and depth discrepancies among various cross-sections of red-clay. While gravels and sands are found in the lowermost red clay deposits in different regions during field morphostratigraphical survey. The phenomena suggest that the running water processes played an important role on the early red clay deposition.

Key words: Loess-red clay sequence; magnetostratigraphy; planation surface; geological significance