

文章编号: 1000-0550(2003)03-0482-05

毛乌素沙地全新世地层粒度组成特征及古气候意义

曹红霞¹ 张云翔^{1,2} 岳乐平^{1,2} 王煜³

1 (西北大学地质系 大陆动力学教育部重点实验室 西安 710069)

2 (中国科学院地球环境研究所 西安 710075)

3 (陕西咸阳市勘察测绘研究院 陕西咸阳 712000)

摘要 分析结果显示,毛乌素沙地粒度自西北至东南逐渐变细、磁化率值逐渐变大。这一规律不仅表现在地表,而且在不同地点同一层位也有明显反映。说明了毛乌素沙地的形成过程与东亚季风联系密切。就所选剖面分析来看,本区在更新世晚期及全新世早期气候比较寒冷干燥,东亚冬季风影响较明显,此时为堆积成沙期,自北至南堆积的砂粒渐细,砂层渐薄;全新世中期气候温暖湿润,东亚夏季风影响显著,此时为较明显的成壤期,表现在自北至南普遍可见发育较好的黑垆土层,且南部的成壤作用比北部好,土壤的厚度也大;全新世晚期至今,气候向干冷的方向转化,但变化幅度远小于末次冰期。

关键词 毛乌素沙地 粒度 磁化率 全新世 古气候

第一作者简介 曹红霞 女 1974年出生 硕士研究生 第四纪地质与环境学

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

毛乌素沙地位于鄂尔多斯高原东南隅,沙地面积近 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1],是第四纪以来形成的流动、半流动、固定沙丘与大小黄土草地镶嵌分布的草原型沙漠。在气候带上位于干旱半干旱过渡地带,对于环境变化相当敏感,加之第四纪形成的一些典型的风成沉积剖面,为这一地区的研究提供了丰富的地质资料,因此得到了普遍关注^[1~7]。不同学者分别从地层学、地球化学、孢粉组合、沉积特征、磁化率及粒度等角度对毛乌素沙地的形成、环境演化进行了研究。前人的研究较多是对过去长时间序列的研究,而对整个区域内部地层沉积特征的研究尚需进一步加强。针对上述问题,在总结已有相关成果的基础上,通过野外详细考察,在区域内部选取五个典型剖面采集样品,进行了详细的室内粒度分析和磁化率值测定,得到大批第一手数据,对研究毛乌素沙地全新世以来所记录的古气候演化将提供新的证据。

1 样品的采集与测量

为了解毛乌素沙地末次冰期以来区域内部古气候在不同方向的变化规律,在区域内进行了地表采样,采样位置如图1所示,在选取地表样品的基础上,还选取了5个剖面,以反映区域不同时期古气候变化规律。南北方向4个地质剖面(图1)分别为:杭锦旗哈达土($39^\circ 44.421' \text{ N}$, $108^\circ 44.423' \text{ E}$)、乌审旗通斯($38^\circ 15.406' \text{ N}$, $108^\circ 42.081' \text{ E}$)、乌审旗草筛堂

($37^\circ 44.348' \text{ N}$, $108^\circ 42.815' \text{ E}$)、靖边县桃树渠($37^\circ 35.012' \text{ N}$, $108^\circ 42.636' \text{ E}$)等。另一剖面在陕北榆林地区赵家峁($38^\circ 29.296' \text{ N}$, $110^\circ 07.159' \text{ E}$)选取,此剖面作为毛乌素沙地东部的剖面。上述剖面分别以5 cm和10 cm间隔采样,共采集样品295份。

试验在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完

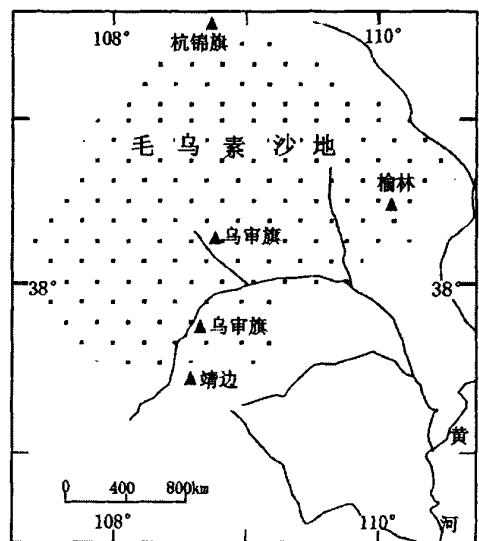


图1 毛乌素沙地取样位置图

Fig. 1 Sampling sites in Mu Us sandy land

成,磁化率测量使用南京师大生产的MODEL-942型磁化率仪;粒度测量使用英国马尔文公司生产的最新型号 Mastersizer2000型激光粒度仪。

粒度试验全部应用湿法测量。首先进行样品前处理,方法如下:取样品0.5g放入200ml烧杯中,加10ml10%双氧水(去除其中的有机质),放加热板加热至沸腾,此时加10ml10%盐酸(去除其中的钙质),待不出现气泡时,将烧杯从加热板取出,加满蒸馏水静置12小时以上,使颗粒沉降于烧杯底部,轻轻倒掉其上部液体,之后加10ml六偏磷酸钠(1000毫升水溶解36g)将烧杯放入超声波池中振荡10分钟,目的是打碎粘在一起没有分散开的颗粒,之后进入样品的测量,采用手动测量法。

2 区域剖面沉积特征及气候环境变化

2.1 南北方向上的变化

2.1.1 地层对比与地层发育

工作区南北方向选取的四个剖面见图2,杭锦旗哈达土、乌审旗通斯、乌审旗草筛堂、靖边桃树渠剖面的厚度各为2.2m、1.5m、1.2m、2.5m。从野外观察来看,四个剖面都存在一个典型发育的土壤层,此层距地表为0.1m左右,各土壤层颜色较其上下层颜色深,主要为黑褐色—黄褐色,土壤团粒结构明显,质地疏松,植物根系发育。根据这些典型特点及相关资料^[6,7,8]的测年记录认为该层在时代上相当于黄土高原顶部普遍发育的黑垆土(S_0),形成时间为全新世中期。这一标志层上部普遍存在弱发育土壤层(或砂土层),为全新世晚期以来形成。其下部紧邻的层位为砂土层,为更新世晚期至全新世早期形成。

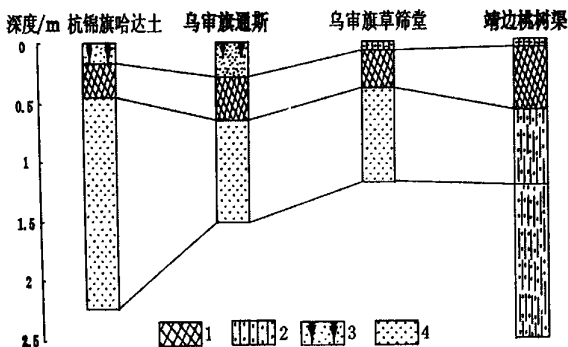
系,厚度0.1m左右;第二层相当于 S_0 ,土壤团粒结构明显,厚度约0.25~0.4m;第三层为黄色砂土层,结构疏松,颗粒较粗,厚度约0.6~1.8m。从各剖面横向对比来看,同一层土壤发育的情况存在差异,表现在:1) S_0 在成壤强度上部明显优于北部,其厚度和颜色也存在差异,南部厚度较大、颜色较深;北部相反。2) S_0 之下的砂土层在南北方向上其厚度、颜色也存在差异,北部砂土层明显厚于南部,但土壤颜色由北至南颜色渐深。3) S_0 之上的地表土较为疏松,粒度较粗,在厚度上似乎没有明显的规律性,但在成壤强度上却存在差异,南部的成壤强度明显优于北部。

2.1.2 粒度、磁化率值变化特点

沉积物的粒度组成主要受其搬运营力、搬运方式和沉积环境等因素控制,对于风成而言,粒度组成可以作为沉积物沉积形成时气候变化的间接指标^[9]。在区域分析上为了能够很好地反映土壤颗粒粗细的平均状态,选用中值粒径这一指标,中值粒径是指样品体积累积到50%的粒径值。靖边席麻湾桃树渠剖面中值粒径值较小,如果和其它三个剖面使用同一比例显示,其变化趋势将难以显示,因此这里放大了其中值粒径的比例。根据放大比例后的图形显示,其变化趋势与磁化率所反映的气候变化基本一致。

就粒度变化曲线来看,四个剖面的变化趋势不十分一致,表现在:1)第三层的粒度变化趋势,在杭锦旗哈达土表现为明显的多个S形组合,在乌审旗通斯和草筛堂有稍微的波动,在靖边几乎没有什么变化;2)第二层粒度值在各个剖面都有明显减小趋势;3)第一层的粒度值变化可分为两种趋势,哈达土和通斯的粒度值随深度减小而减小,草筛堂和桃树渠粒度值变化则相反。为了更直观显示各剖面不同层位中值粒径的变化,现将其各个层位的中值粒径求平均值,计算结果见表1。无论从横向上比较,还是从各剖面纵向比较都表现出很强的规律性:1)横向上,每一层位都表现出由杭锦旗至靖边粒度值迅速减小的趋势;2)纵向上,四个剖面都显示出黑垆土层中值粒径均值小于上下层的值。

反映古气候的变化的代用指标除粒度外,磁化率也被视为一良好代用指标。它表示样品被磁化的难易程度,是样品在弱磁场中获得的磁化与弱磁场本身强度之比。尽管目前对影响其变化的原因在认识上存在分歧,但普遍认为:黄土磁化率值低代表冬季风加强,古土壤磁化率值较高代表夏季风加强。本研究区主要由砂质黄土与砂质古土壤组成。选用指标为质量磁化率,即磁化率仪所测样品读数与其质量的比值。从图3中可以看出,磁化率变化曲线跟中值粒径变化曲线



1. 垆土; 2. 黄色亚砂土; 3. 亚砂土; 4. 砂土

图2 南北地层剖面对比

Fig. 2 Comparison of deposit profiles from north to south

根据野外观察,四个剖面全新世地层普遍可划分三层。第一层为黄色亚砂土层,结构疏松,见有植物根

相关,每一层的变化趋势这里就不再赘述,仅就各层测的磁化率均值附表1。可以看出,磁化率均值的变化也具有一定规律性:1)地层横向对比(除乌审旗通斯外),表现出自北至南磁化率均递增的趋势。2)同一剖面纵向对比,普遍表现出第二层值>第一层值>第三层值的规律。

2.2 东西方向上的变化

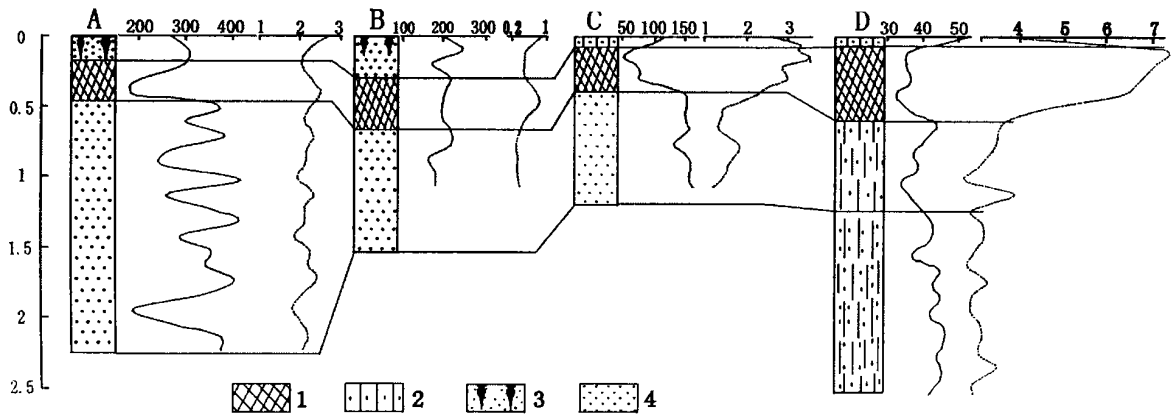
2.2.1 地层对比与地层发育

根据野外考察,东西方向选取两个剖面进行对比分析。这两个剖面分别是:乌审旗草筛堂和榆林市赵家峁,采样位置见图1。草筛堂位于毛乌素沙地的中部,赵家峁位于沙地东部,因此对反映区域东西方气候变化具有一定的代表意义。剖面地层的对比和划分原则同上,以具有标志特征的黑垆土层及相关资料为依据^[8,10],并结合野外观察地层结构来划分。草筛堂剖面地层沉积特征在南北剖面对比中已经说明,这里仅就赵家峁剖面加以介绍。赵家峁剖面位于榆林市大河塔乡,从整个剖面沉积特征看(图4),第一层地表砂土层厚约0.05 m,为粘质亚砂土,灰褐色,见有植物根系;第二层为灰黑色砂质粘土(黑垆土),土壤团粒结构明显,厚度为1.15 m,颜色从上至下渐变浅,至剖面

0.7 m 以下,颜色变为浅黄色;第三层为灰黄色砂土,胶结疏松,厚度为0.6 m;第四层为灰黄色砂土,厚0.4 m,砂粒较粗。其中第三层与第四层的划分是根据野外观察砂粒的粗细差异,确定应为两个不同层位。这两个剖面的地层沉积特征有以下特点:1)第二层S₀的厚度有明显差别,赵家峁的厚度为1.15 m,而草筛堂的厚度仅为0.3 m。另外,赵家峁S₀的土壤团粒结构较草筛堂明显。2)第一层地表土成壤强度比第二层S₀的差,厚度上差别不大。3)第三层砂土层在厚度上,草筛堂的大于赵家峁。

2.2.2 粒度、磁化率值变化特点

分析工作区东西方向各气候指标变化时,鉴于选取剖面有限,为了很好地反映古气候变化,经试验分析,另外选取粒度值<60 μm 的百分含量这一替代指标。各指标分析结果如下:1)草筛堂剖面的中值粒径变化为第二层<第一层<第三层,磁化率均值和<60 μm 的百分含量变化规律表现为第二层>第一层>第三层。赵家峁剖面的中值粒径变化为第一层<第二层<第三层,磁化率均值和<60 μm 的百分含量变化规律表现为第一层>第二层>第三层。从赵家峁剖面的变化曲线来看,中值粒径由下至上逐渐变小;磁化率值



A 杭锦旗哈达士剖面; B 乌审旗通斯剖面; C 乌审旗草筛堂剖面; D 靖边桃树渠剖面
1 黑垆土; 2 黄色亚砂土; 3 亚砂土; 4 砂土

图3 南北方向古气候替代指标曲线对比

Fig. 3 Comparison of paleoclimatic substitute index curve from north to south

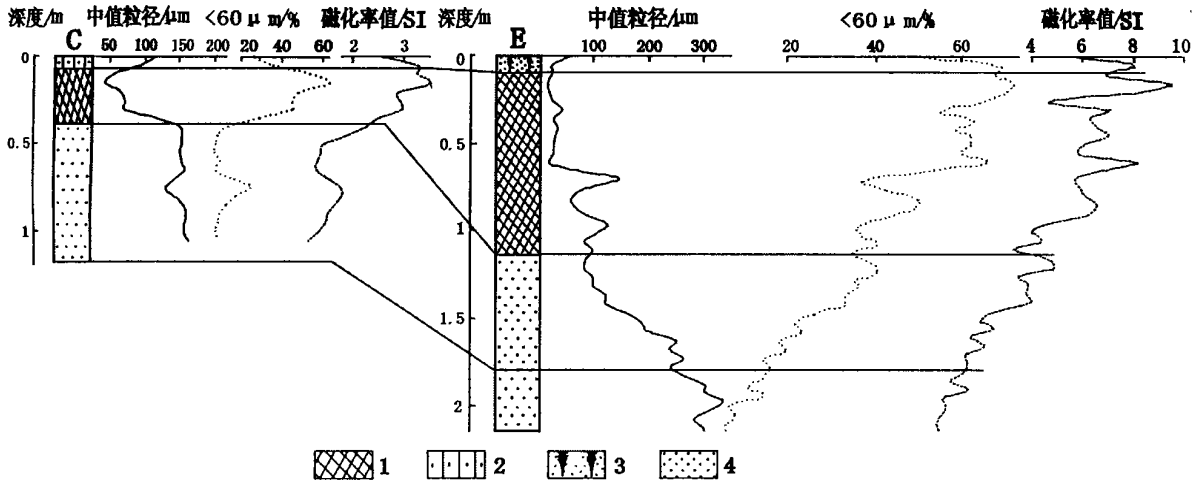
表1 剖面各层中值粒径均值及磁化率均值对比表

Table 1 Profile comparison of mean medial grain size and mean magnetic susceptibility from north to south

采样位置	中值粒径均值/ μm			磁化率均值/ $(10^{-5} \cdot \text{kg}^{-1})$		
	第一层	第二层	第三层	第一层	第二层	第三层
杭锦旗哈达士	298	243	341	2.25	2.30	2.00
乌审旗通斯	205	190	189	0.60	0.70	0.22
乌审旗草筛堂	96	75	150	3.02	3.10	1.50
靖边桃树渠	45	36	42	4.88	6.35	3.10

和 $<60 \mu\text{m}$ 的百分含量由下至上逐渐增大。为定量显示各层各指标的变化趋势,可以参考表 2,分析如下:
 1)由草筛堂至赵家峁,中值粒径均值逐渐减小,其中第一层减小 $66 \mu\text{m}$,第二层减小 $5 \mu\text{m}$,第三层增加 $5 \mu\text{m}$;

2)磁化率均值逐渐增加,第一层增加 $4.38 \times 10^{-5} \text{ kg}^{-1}$,第二层增加 $3.45 \times 10^{-5} \text{ kg}^{-1}$,第三层没有增加;3) $<60 \mu\text{m}$ 的百分含量均值也逐渐增加,第一层增加 28%,第二层增加 13%,第三层增加 12%。



C. 乌审旗草筛堂剖面; E. 榆林赵家峁剖面; 1. 黑垆土; 2. 黄色亚砂土; 3. 亚砂土; 4. 砂土

图 4 东西方向地层剖面对比及古气候替代指标曲线对比

Fig. 4 Comparison of paleoclimatic substitute index curve from west to east

表 2 东西方向地层剖面古气候替代指标对比

Table 2 Contrast of paleoclimatic substitute index from west to east

层位	乌审旗草筛堂剖面			榆林赵家峁剖面		
	中值粒径 均值/ μm	磁化率 均值 10^{-5} kg^{-1}	$<60 \mu\text{m}$ 均值/%	中值粒径 均值/ μm	磁化率均值 10^{-5} kg^{-1}	$<60 \mu\text{m}$ 均值/%
第一层	96	3.02	32	30	7.40	60
第二层	75	3.10	43	70	6.55	56
第三层	150	1.50	10	155	1.50	22

3 讨论

晚更新世晚期或全新世早期,各层剖面均沉积为砂土,磁化率值小于上覆两层的值,反映这一时期东亚冬季风影响显著,气候的干冷程度大于其它两个时期。这一层的中值粒径值也比较大,杭锦旗剖面极大值甚至达到 $400 \mu\text{m}$,且气候变化呈 S 形来回波动,至南部气候的这种波动迅速减小,说明东亚冬季风对沙地北部气候影响较大,而至南部和东部砂化程度减小。

全新世中期,由于气候变暖变湿,东亚夏季风盛行,整个毛乌素沙地普遍为一个大的成壤期,表现为磁化率值在这一时期明显变大,土壤的颗粒也出现细化现象,但南北方向的成壤强度依然存在差异,这既表现在向南剖面黑垆土层的颜色变深、厚度变大,也表现在这一层向南磁化率值有明显增加的趋势。但也可以发现乌审旗通斯的磁化率值各层均小于其北部杭锦旗哈

达土的,似乎与南北成壤强弱的变化规律相矛盾,笔者认为这种现象可能是由于通斯的局部干旱造成成壤作用减小,因而磁化率值变小。

全新世晚期至现在,可能由于受到人为扰动作用,地层厚度没有什么变化规律,但成壤作用的强弱有明显的差异,北部为亚砂土,南部已变为砂质黄土。尤其从中值粒径的变化上可以看出,靖边第一层的粒度比北部其它三剖面的黑垆土层粒度还要细,说明毛乌素沙地在全新世晚期尽管受人类活动影响加强,但东亚季风的影响仍然起重要作用。

毛乌素沙地东西方向的气候变化虽然仅通过两个剖面对比来说明,但还是能反映出一些变化规律:东部各层粒度变细,磁化率值变大,且黑垆土层的厚度变大,这些说明了东部可能受夏季风的影响较强,气候相对温暖湿润,成壤作用也加强。赵家峁剖面的第二层比第一层粒径均值要大,磁化率均值要小,笔者认为这

与所受东亚季风影响减小密不可分。

综合分析,毛乌素沙地自全新世以来有自西北向东南颗粒逐渐变细,成壤作用逐渐加强的规律。就各个时期成壤强度来讲,其变化有差异,表现为:全新世中期>全新世晚期>全新世早期。

致谢 西安地研所王岷教授、张维吉教授、李智佩及聂浩刚工程师对野外工作做了大量帮助,王建其工程师为粒度及磁化率试验提供了许多方便,武力超、张建峰、杨利荣等同学参加了野外采样和部分试验工作,王小平同学帮助完成了整个粒度试验,笔者对他们的辛勤劳动谨致深切谢忱!

参考文献(References)

- 董光荣,高尚玉,金炯等.毛乌素沙漠的形成、演变和成因问题[J].中国科学,1988,(6):633~642[Dong Guangrong, Gao Shangyu, Jin Jiong, et al. The issue of Mu Us Sandy Land's formation, development and cause of formation[J]. Science in China 1988, (6): 633~642]
- 苏志珠,董光荣.130ka 来陕北黄土高原北部的气候变迁[J].中国沙漠,1994,3(1):45~51[Su Zhizhu, Dong Guangrong. Climatic change in the northern Shaanxi loess plateau during the last 130ka years[J]. Journal of Desert Research, 1994, 3(1): 45~51]
- 陈渭南,高尚玉,孙忠.毛乌素沙地全新世地层化学元素特点及其古气候意义[J].中国沙漠,1994,3(1):22~30[Chen Weinan, Gao Shangyu, Sun Zhong. On the Holocene geochemical landscape characteristics and its paleoclimatic significance, Mu Us Sand sea[J]. Journal of Desert Research, 1994, 3(1): 22~30]
- Sun Jimin, Ding Zhongli. Deposites and soils of the past 130,000 years at the desert-loess transition in northern China[J]. Quaternary Research, 1998, 50: 148~156
- 孙继敏,刘东升,丁仲礼等.五十万年来毛乌素沙漠的变迁[J].第四纪研究,1996,(4):359~365[Sun Jimin, Liu Tungsheng, Ding Zhongli, et al.. The Mu Us desert evolution in the last 0.5Ma[J]. Quaternary Sciences, 1996, (4): 359~365]
- 高尚玉,王贵勇,哈斯等.末次冰期以来中国季风西北边缘沙漠演化研究[J].第四纪研究,2001,21(1):66~70[Gao Shangyu, Wang Guiyong, Ha Si, et al. A case study on desert evolution in the north-western fringe of monsoon area, China since the last Glacial Epoch[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(1): 66~70]
- 靳鹤龄,董光荣,苏志珠等.全新世沙漠—黄土边界带空间格局的重建[J].科学通报,2001,46(7):538~543[Jin Heling, Dong Guangrong, Su Zhizhu, et al. Rebuilding of space structure in desert-loess boundary belt on the Holocene[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(7): 538~543]
- 丁仲礼,孙继敏,刘东升.联系沙漠—黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J].中国科学,1999,29(1):82~87[Ding Zhongli, Sun Jimin, Liu Tungsheng. Sediment index of coupling relation during contacting desert-loess evolution[J]. Science in China, 1999, 29(1): 82~87]
- 鹿化煜,安芷生.黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J].中国科学(D辑),1998,6,28(3):278~283[Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau[J]. Science in China(Series D), 1998, 6, 28(3): 278~283]
- 董光荣,靳鹤龄,陈惠忠.末次间冰期以来沙漠—黄土边界带移动与气候变化[J].第四纪研究,1997,5(2):158~167[Dong Guangrong, Jin Heling, Chen Huizhong. Desert-loess boundary belt and climatic change since the last interglacial period[J]. Quaternary Research, 1997, 5(2): 158~167]

Characteristics of Grain Size Composition Holocene Deposits and Its Paleoclimatic Significance in Mu Us Sandy Land

CAO Hong-xia¹ ZHANG Yun-xiang^{1,2} YUE Le-ping^{1,2} WANG Yi³

1 (Laboratory of Continental Dynamics of Department of Education, Northwest University Department of Geology, Xi'an 710069)

2 (Institute of Earth Environment Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075)

3 (Exploration Institute in Xianyang, Xianyang Shaanxi 712000)

Abstract The analytic consequences show the changing laws of grain size and regional magnetic susceptibility in Mu Us sandy land, the grain size gradually becomes smaller, while the magnetic susceptibility becomes larger from north to south. This phenomenon appears not only on the surface of Mu Us, but also obviously occurs on the same layer of different places, so it shows that Mu Us sandy land's forming process is closely related to the East Asian monsoon. According to the analyses from selected profiles, we know that, it is cold and dry in this region during the later Pleistocene, and early Holocene East Asian winter monsoon's influence is obvious, so, it is a period of sand accumulation, when the layers become thinner gradually from north to south. During Middle Holocene, it is warm and humid, influenced evidently by East Asian summer monsoon, so, it is an obvious pedogenesis, when there are generally well-developed Holocene palaeosol(S0) from north to south, and the pedogenesis in the south is better than that in the north, the soil is also thicker than that in the north. From late Holocene to present, the climate changes tend to be dry and cold, but its changing extent is smaller than that of last glacial period.

Key words Mu Us sandy land, grain size, magnetic susceptibility, Holocene, paleoclimate