

文章编号: 1000-694X(2007)05-0775-05

关中平原中西部地区全新世 11 500—3 100 a BP 成壤环境演变和沙尘暴活动研究

刘晓琼¹, 赵景波^{1,2*}

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

摘 要: 全新世环境演变研究是过去全球变化研究的重点,也是当今全球变化研究的重点和热点。深入了解和研讨全新世成壤环境演变和沙尘暴活动对于丰富全新世环境变迁理论、认识现阶段的沙尘暴活动,促使人与自然环境协调发展都有着十分重要的意义。通过研究关中平原中西部地区全新世地层中粒度、磁化率、CaCO₃ 和 pH 值四项指标,综合分析了本区全新世 11 500—3 100 a BP 期间的成壤环境演变及与之相关的沙尘暴活动信息。

关键词: 全新世; 关中平原中西部; 黄土-古土壤序列; 沙尘暴活动; 成壤环境演变

中图分类号: P532

文献标识码: A

我国第四纪由偏北低空气流携带的粉尘沉降在黄土高原上,这些粉尘经历风化成壤改造作用而形成的黄土-古土壤序列分布广泛、沉积连续、蕴涵丰富的古环境信息,很好地记录了东亚季风变迁的历史^[1-2]。关中平原是黄土高原上的断陷盆地,其内黄土地貌主要为 3~4 级呈阶梯状分布的黄土台塬,塬面完整,高于渭河水面 100~400 m,很少受到冲沟的切割。在这些台塬上发育的黄土-古土壤序列是恢复古环境的良好陆源信息载体。张德二^[2-3]经研究证实,现代的尘暴和雨土现象从发生时间上具有一致性、发生成因上具有联系性,是地质时期黄土堆积的继续,也是近代黄土形成的实例。刘东生等研究证实^[1,4-6]:沙尘暴频发于低温的冬半年,且多发于较干旱地区与较干旱的冬季。这时,大气中粉尘含量最高,是黄土沉积最有利的时期。由此可知,在黄土-古土壤序列中,黄土沉积时应该是沙尘暴频发时段。

1 区域概况、地层年代确定

1.1 区域概况

关中平原地处黄土高原南部地区,北起北山,南至秦岭,西起宝鸡,东达潼关,是一个西部缩窄闭合,向东开阔的盆地平原。宝鸡一带平原很窄,愈东愈

宽,西安以东宽达几十公里。整个平原西高东低,西部海拔高度约 700~800 m,东部最低处仅 325 m,平均海拔 520 m。现为西安、咸阳、宝鸡、渭南、铜川等五市所辖。这一地区在地貌单元上大致与渭河断陷地堑一致,渭河横贯东西,故中部为渭河河流阶地地区,其北为渭北黄土台塬区,其南为一连串的秦岭北麓冲—洪积扇。宝鸡市坐落于关中平原西端,北倚渭北黄土台塬,南踞秦岭,渭河流经市区。总的地势特点是南、北、西三面环山,中部低平,东部敞开,河流以渭河为主。宝鸡地区气候为暖温带半湿润季风气候,属于我国半干旱—半湿润季风环境敏感地带。这里四季分明,年平均气温 12.8℃,多年平均降水量为 710 mm,50%集中于 7—9 月,易出现早春旱和伏旱,秋有连阴雨。蓝田县地理坐标介于 33°5′—34°20′N, 109°7′—109°48′E 之间,蓝田县气候属暖温带半湿润大陆性季风气候。这里四季分明,雨量充沛,年均温 13.1℃,≥10℃积温 4 302℃,多年平均降水量为 724 mm。

1.2 样品采集

通过大量的野外考察,选取了位于黄土高原南部关中平原的宝鸡胜利村剖面 and 蓝田麋鹿村剖面,前者位于宝鸡市区西北部,后者位于蓝田县西北部。从剖面的沉积特征可以看出,这两个剖面全新世黄

收稿日期: 2006-05-07; 改回日期: 2006-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(406772108); 黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SKLLQG0605)资助

作者简介: 刘晓琼(1977—),青海湟源人,在读博士研究生,研究方向为人地关系与城乡发展。

* 通讯联系人: 赵景波(E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn)

万方数据

土沉积连续,保存良好,具有典型性,较完整地记录和保存了本区全新世以来的环境演变轨迹。对两个剖面从上往下每隔 2.5 cm 高密度采样,宝鸡胜利村剖面采样 81 个,蓝田麋鹿村剖面采样 61 个。

1.3 剖面地层年代的确定

中国黄土-古土壤序列是第四纪全球变化的良好信息载体。确定黄土-古土壤序列年龄是利用黄土记录进行全球变化研究的关键。前人对此做了诸多研究^[1,7-9]。出于客观条件的限制,未能对文中两个剖面进行年代测定,但是可根据已经测年的其他剖面,通过地层对比来确定两个剖面地层年代。由于黄土地层分布稳定而广泛,这种对比是可靠的。因为宝鸡胜利村、蓝田麋鹿村剖面结构分别与黄春长教授研究过的眉县清湫村剖面和刘东生教授研究过的洛川黑木沟剖面结构极为类似,所以可借用这两个已知地层年龄的剖面来对比确定两个剖面的地层年代。故确定剖面地层年代的理论依据为:以及已有的眉县清湫村剖面、洛川黑木沟剖面地层年代,关中和陕北南部利用¹⁴C 和 TL 测年确定的马兰黄土顶界和黄土 L₀底界年代^[1,9]。

清湫村剖面和黑木沟两剖面中全新世以及全新世大暖期的起始时间相同,分别为 11 500 a BP 和 8 500 a BP,据此将两个剖面全新世的底界定在 11 500 a BP 左右,全新世大暖期开始时间定为 8 500 a BP 左右。黄春长教授通过综合分析黄土剖面中土壤资源退化记录和历史文献中水土生物资源退化记录,结合已有的¹⁴C、TL 测年数据和新公布的夏商周年表,确定渭河流域全新世古土壤和黄土之间的界限为 3 100 a BP^[7-9],说明宝鸡胜利村剖面全新世晚期起始时间可定为 3 100 a BP。刘东生教授通过系统的研究将黑木沟剖面中全新世晚期的开始时间确定为(3 000±500)a BP^[1]。这表明从 3 100 a BP 左右黄土高原气候开始恶化,环境剧烈变化,故可将麋鹿村全新世开端定为 3 100 a BP 左右。在宝鸡胜利村剖面全新世大暖期地层分裂为两层,依据黄春长教授的研究,6 000—5 000 a BP 是一个气候恶化、仰韶文化衰退的时期,该时期黄土高原黄土堆积速度加快。因此,宝鸡胜利村剖面中的黄土夹层的发育时期与之相对应,即黄土夹层的上下层时间分别为 5 000 a BP 和 6 000 a BP。蓝田麋鹿村剖面中弱发育的古土壤的底界应与洛川剖面中弱发育的古土壤的底界相对应,即该剖面中弱发育古土壤的底界年龄应在(4 830±220)a BP 时间左右^[1]。

万方数据

2 气候指标反映的环境演变

2.1 气候指标的测试及其环境意义

试验采用英国 Malvern 公司生产的 Masterize-S 型激光粒度仪测量粒度;用英国 Bartington 公司生产的 MS-2B 型磁化率仪测取土壤磁化率;用气量法计算土壤 CaCO₃ 的百分含量;用土壤 pH 计获取土壤 pH 值。

黄土和古土壤是近 250 万年来岩石圈、生物圈、大气圈、水圈相互作用过程的重要记录,其粒度、磁化率、碳酸钙等是黄土成壤环境演变的重要地质证据。它们作为反映冬、夏季风活动互为消长的替代性指标,能在一定程度上说明当时的成壤环境和沙尘暴活动的情况。根据莫尔德维^[10]所作的尘粒在空气中悬浮和搬运性能的试验结果表明:在黄土粒度的组成成分中,50~10 μm 粒径的颗粒是易浮动、易分散的,是风尘的“基本粒组”,也是我们通常说的粒度百分含量中的粗颗粒,可以用它来反演西北季风的变化。而粘粒的百分含量的变化与其成反相关,即与西北季风强度变化成反相关,因此可以借用粘粒百分含量的变化来推测东南季风的变化^[11-13]。即土壤中 50—10 μm 百分含量的高值代表西北季风活动增强期,此时沙尘暴活动增强,而<5 μm 的粘粒百分含量的高值代表的气候意义与之相反;根据相关研究^[14],黄土和古土壤中磁化率值反映了当时的古气候条件,磁化率值越高,气候条件越暖湿,反之则冷干;黄土高原堆积黄土的时候是半干旱的草原环境,淋溶作用弱,所以 CaCO₃ 含量高。在发育古土壤的时候是湿润森林环境,Ca²⁺ 更多地被溶解迁移,致使 CaCO₃ 含量相对降低^[15];当黄土高原气候变得暖湿时,成壤作用强,土壤大部分可溶性离子被雨水冲走,土壤的 pH 值降低,沙尘暴活动有所减少。气候变得冷干时,成壤作用弱,降水减少,生物作用变弱,土壤的 pH 值相对较高,此时沙尘暴活动往往加剧^[16]。

由上述内容可知,采用粒度、磁化率、CaCO₃ 和 pH 值四项指标可以利用其代表的气候意义,通过分析获取全新世成壤环境演变和沙尘暴活动信息。这四项气候代用指标为研究宝鸡塬地区全新世以来的成壤环境演变和沙尘暴提供了良好的条件。50~10 μm 粗粉砂、碳酸钙曲线峰值对应于成壤微弱、沙尘暴活动加剧的时期。而磁化率^[16]、小于 5 μm 粘粒和胶体累积含量的曲线峰值对应成壤强烈,沙尘暴活动减弱的时期(图 1、图 2)。

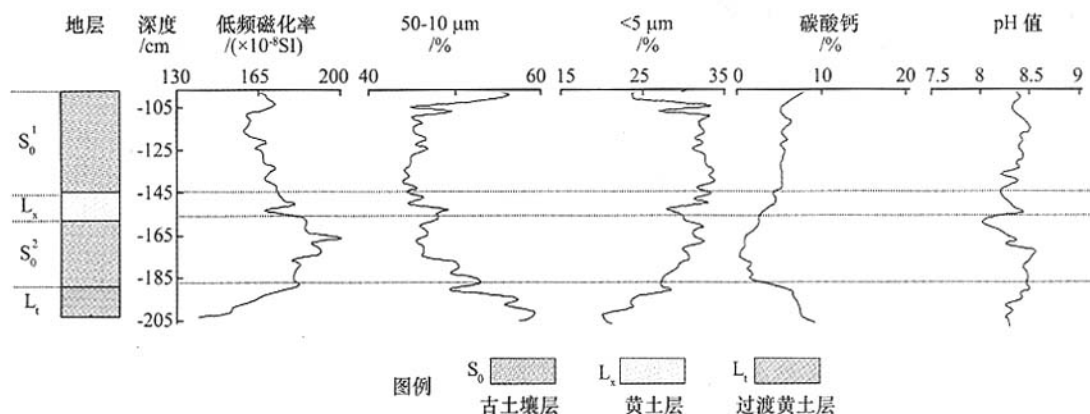


图1 宝鸡陵塬胜利村剖面全新世黄土-古土壤磁化率、粒度、 CaCO_3 、pH 值变化

Fig. 1 Curves of magnetic susceptibility, grain-size, CaCO_3 , pH value of a Holocene loess-paleosol profile in Shengli village

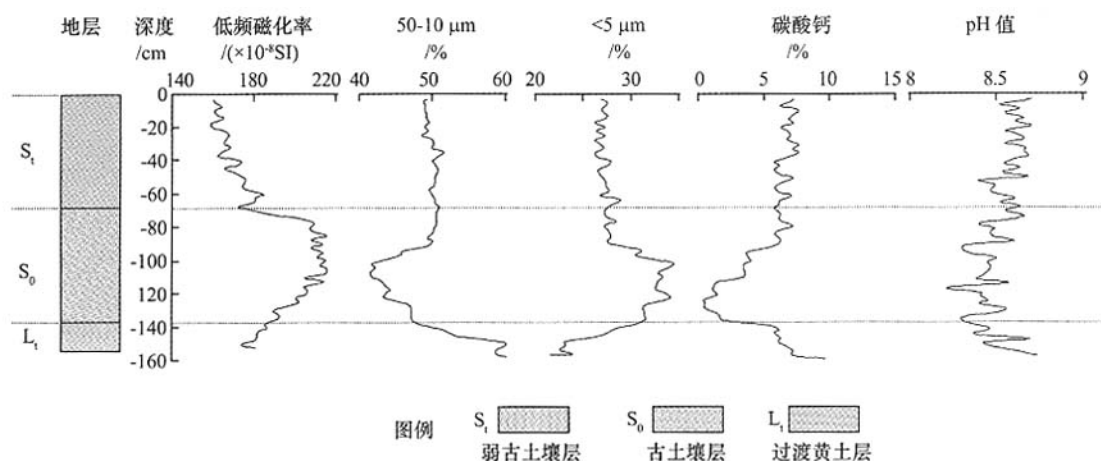


图2 蓝田麋鹿村剖面全新世黄土-古土壤磁化率、粒度、 CaCO_3 、pH 值变化

Fig. 2 Curves of magnetic susceptibility, grain-size, CaCO_3 , pH value of a Holocene loess-paleosol profile in Milu village

2.2 全新世 11 500—3 100 a BP 期间成壤环境演变与沙尘暴活动

四项指标的综合分析和对比再现了宝鸡陵塬地区全新世以来的成壤环境演变及由之反映的沙尘暴活动,这四项指标较一致地再现了本地区古环境演变状况。具体而言它们所反映的古环境特征如下:

1) 全新世早期(11 500—8 500 a BP),这一时期对应于两个剖面中的过渡层 L_t ,对应的深度分别为 202.5—185 cm 和 152.5—135 cm,这时关中平原地区东南季风势力开始增强,但因为夏季风效应滞后于冬季风的缘故,虽然气温回升,但是降水量仍然较少,气候较为干燥。宝鸡胜利村剖面 and 蓝田麋鹿村剖面中各项指标的变化表现为粗粉砂(50—10 μm)含量开始减少,分别由 60%和 60%减至 56%和 50%,而粘粒和胶体的累积含量(<5 μm)升高,分别由 20%和 22%增至 24%和 28%;Kd 值(粘粒胶体万方数据

累积组(<5 μm)含量/粗粉砂粒组(50—10 μm)含量)亦表现出增长趋势,分别由 0.36 和 0.34 增至 0.57 和 0.56;磁化率值表现为快速增大,宝鸡胜利村剖面 and 蓝田麋鹿村剖面中低频磁化率分别由 139×10^{-8} SI 和 174×10^{-8} SI 上升至 181×10^{-8} SI 和 192×10^{-8} SI 而高频磁化率分别由 128×10^{-8} SI 和 153×10^{-8} SI 上升至 161×10^{-8} SI 和 173×10^{-8} SI;碳酸钙则呈现减小趋势,分别由 9.1%和 9.7%减至 6.3%和 5.8%;pH 值变化与碳酸钙含量变化相同分别由 8.4 和 8.7 降至 8.3 和 8.4。这表明关中平原中西部地区在全新世早期气候呈好转趋势,成壤作用和粘化作用增强,沙尘暴活动次数显著减少,土壤的发育表现为边沉积边成壤。

2) 全新世中期(8 500—3 100 a BP),这一时期对应于宝鸡胜利村剖面中的 S_{02} 、 S_{01} 和 L_x ,对应深度为 185—97.5 cm。这时粗粉砂(50—10 μm)含量达到最低值 44%,粘粒和胶体的累积含量(<5 μm)达

最大值 34%；低频、高频磁化率出现峰值分别为 202×10^{-8} SI 和 185×10^{-8} SI；碳酸钙和 pH 值出现最小值分别为 0.3% 和 8。从图 1 可以看出，在全新世中期（全新世大暖期）宝鸡胜利村剖面中该时期的古土壤层 S_0 分裂为两层，这是因为本时期季风转化，导致以风尘堆积占优势的黄土形成时期与以生物风化成壤作用占优势的古土壤发育时期相互更迭造成的。说明了全新世大暖期的气候存在明显波动，6 000—5 000 a BP 发生了一个干旱事件，形成黄土堆积，使得全新世中期古土壤分裂成为两层，表现为多周期土壤，这与许多学者研究的相同^[17-20]。由图 2 可知，在蓝田麋鹿村剖面中，全新世中期对应的深度为 135—2.5 cm。与宝鸡胜利村剖面相同，这时地层中的粗粉砂含量、碳酸钙含量出现最小值，分别为 42% 和 0.48%。而低频、高频磁化率与粘粒和胶体的累积含量（ $< 5 \mu\text{m}$ ）出现最大值，分别为 216×10^{-8} SI、 197×10^{-8} SI 和 35%。在蓝田麋鹿村剖面中全新世大暖期发育的土层分裂为两个阶段，前一阶段为古土壤发育的最适宜期，发育了古土壤层 S_0 ，后一阶段为弱成壤层 L_1 发育时期。 S_0 发育时期，代表夏季风活动强度的粘粒胶体累积含量（ $< 5 \mu\text{m}$ ）、磁化率和 Kd 值均高于 L_1 发育时期，碳酸钙和 pH 值则低于 L_1 发育时期。代表冬季风活动强度的粗粉砂含量（ $50-10 \mu\text{m}$ ）在 S_0 发育时期远小于 L_1 发育时期，这表明 S_0 发育时期气候条件较 L_1 发育时期温暖，降水量丰富，生物风化作用较强烈，淋溶作用强，沙尘暴活动次数少。

由上述分析结合图 1 和图 2 可知，全新世大暖期东南季风长期控制本地区，气候普遍暖湿，沙尘暴较少发生，风尘堆积速度减弱，土壤的次生粘化作用加强。随着降水量的增加，土壤剖面的淋溶作用进一步加强，碳酸钙遭到强烈的淋失，在整个土壤剖面达到最低值，气候最为暖湿。总的说来这时的土壤发育表现为成壤速率大于黄土的堆积速率与土壤的侵蚀速率，土壤表面随着黄土的堆积而加厚，形成了外观上无明显间断的土壤。但是这并不能说明全新世大暖期是持续温暖的，如图 1 和图 2 所示，全新世大暖期的气候和成壤过程存在明显的波动。

2.3 两个剖面反映的成壤环境演变和沙尘暴活动的差异

由图 1 和图 2 可知，在粒度指标变化中，位于关中平原西部的宝鸡胜利村剖面中粗粉砂（ $50-10 \mu\text{m}$ ）含量、粗砂砾的平均含量略略大于后者，粘粒和

胶体的累积含量前者要低于后者。这说明粒级组分所指示的成壤环境演变和沙尘暴活动存在着一定的差异。虽然两个剖面相距不远，但仍然表现出轻微的地区差异性，宝鸡胜利村剖面的变幅更大。

在磁化率指标的变化中，从总体变化趋势来看，两个剖面的磁化率曲线谷峰波动基本相同，即在黄土层中磁化率值低而在古土壤层中则相反。但宝鸡胜利村剖面中的磁化率值较蓝田麋鹿村剖面低，而且波动性较强。这种波动变化似乎反映出关中平原西部地区当时的成壤环境较为干旱、生物风化成壤作用弱、沙尘暴活动较强，这种情况与目前宝鸡地区现代环境不符，其成因有待进一步研究证实。不能简单地据此断定当时关中西部地区的气候环境一定较中部地区干旱。

两个剖面地层中，碳酸钙和 pH 值具有相同的变化趋势，在黄土层中出现高值而在古土壤层中出现低值。但相比较而言，碳酸钙的波动性较 pH 值大。总的来说，宝鸡胜利村剖面中的碳酸钙和 pH 值的波动性大于蓝田麋鹿村剖面，这种情况在全新世晚期表现尤为突出。这说明在全新世不同时期两剖面反映的成壤环境和沙尘暴活动略有微弱差异，但并不显著。说明全新世 11 500—3 100 a BP 以来关中平原中西部地区内部成壤环境与沙尘暴活动差异并不十分显著。

3 结论

通过综合分析关中平原中西部地区全新世地层粒度、磁化率、 CaCO_3 和 pH 四项指标，反演了本区 11 500—3 100 a BP 以来成壤环境演变及与之相关的沙尘暴活动，得出如下初步认识：

1) 11 500—3 100 a BP 以来成壤环境演变及与之相关的沙尘暴活动特征表现为：早期气候逐渐转暖，生物风化成壤作用增强；中期气候达到最适宜，生物风化成壤作用最强。但在该时期也存在次一级的气候恶化，土壤退化的气候波动事件。

2) 全新世以来的沙尘暴活动表现为：全新世早期由于生物风化成壤作用增强，沙尘暴活动减弱；全新世中期生物风化作用最强，沙尘暴活动最弱。

3) 在再现成壤环境及沙尘暴活动时，粒度、磁化率、碳酸钙和土壤 pH 值四项指标有着较好的指示意义，且各指标之间对应良好。但相比较而言粒度指标变化较为迅速，特别是在季风格局发生转变之际。因此在再现成壤环境及沙尘暴活动时，粒度指标较磁化率、 CaCO_3 和 pH 值指标更为敏感。

4)在全新世11 500—3 100 a BP以来,在影响成壤环境和沙尘暴活动的过程中,自然过程是主要的,人为因素只是在一定程度上加剧了这种自然过程,全新世晚期本区气候环境的恶化更是证明了这一点。我们要以客观公正的态度看待沙尘暴活动,不能一味地将人为因素的影响绝对化。

参考文献(References):

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] Zhang De'er, Synoptic-climatic studies of dust fall in China since historical times [J]. *Scientia Sinica*, 1984, 27(8): 825—836.
- [3] 张德二. 中国历史文献中的高分辨率古气候记录[J]. 第四纪研究, 1995(1): 75—81.
- [4] 施雅风. 中国冰川与环境——现在、过去和未来[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] 朱士光. 黄土高原地区环境变迁及其治理[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999.
- [6] 周明富, 周卫健, Head J. 最近三万年北庄村剖面地层学与¹⁴C测年[C]//刘东生. 黄土第四纪地质 全球变化(第一集). 北京: 科学出版社, 1990: 12—19.
- [7] Huang C C, Zhuo J, Pang J L. A regional aridity phase and its possible cultural impact during the Holocene Mega thermal in the Guanzhong Basin[J]. *The Holocene*, 2000, 10(1): 135—143.
- [8] Huang C C, Pang J L, Li P H. Abruptly increased climatic aridity and its social impact at 3 100 a BP on the Loess Plateau of China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2002(3): 1—13.
- [9] Huang C C, Zhou J, Pang J L, et al. High-resolution studies of

the oldest cultivated soils in the southern Loess Plateau of China[J]. *Catena*, 2002, 47(1): 29—42.

- [10] Moldway L. On the governing Sedimentation from eolian suspension[J]. *Acta Universitatis Szegediensis*, 1962, 14: 75—109.
- [11] 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, 28(3): 278—283.
- [12] 汪海斌, 陈发虎, 张家武. 黄土高原西部地区黄土粒度的环境指示意义[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 21—25.
- [13] 孙有斌, 周杰, 鹿化煜, 等. 风化成壤对原始粉尘的改造作用[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 16—20.
- [14] An Z S, Kukla G J, Porter S C, et al. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the loess Plateau [J]. *Quaternary Research*, 1991, 36(1): 29—36.
- [15] 卢演传. 黄土地层中CaCO₃含量变化与更新世气候旋迴[J]. 地质科学, 1981, 16(2): 122—131.
- [16] 贾耀峰. 土壤pH值及其环境意义[D]// 硕士论文. 关中盆地东部全新世成壤环境演变及其对人类文化的影响——以老官台全新世黄土剖面为例. 2003: 28—29.
- [17] 张占平, 庞奖励, 黄春长. 陕西岐山全新世黄土高分辨率气候记录[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 415—417.
- [18] 庞奖励, 黄春长, 张占平, 等. 陕西五里铺黄土微量元素组成与全新世气候不稳定性研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 151—156.
- [19] Huang C C, Pang J L, Zhao J B. Chinese loess and evolution of the East Asian monsoon[J]. *Progress in Physical Geography*, 2000, 10(1): 75—96.
- [20] Huang C C, Pang J L, Huang P. An early Holocene erosion phase on the loess tablelands in the southern loess plateau of china[J]. *The Geomorphology*, 2002, 43(1): 209—218.

Environmental Change of Pedogenesis and Sandstorm Activity in the Midwest of Guanzhong Plain during 11500—3100 a BP

LIU Xiao-qiong¹, ZHAO Jing-bo^{1,2}

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Environment Institute of Earth, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

Abstract: Holocene environmental change was the focus of global change research in the past, still is the key and hotspot of present global research. To deeply understand the Holocene environmental change of pedogenesis and sandstorm activity has very important significance in enriching the theory of Holocene environmental change, realizing the sandstorm activities at present, and making people and nature develop harmoniously. Taking the midwest of Guanzhong plain as study region and through studying on the four climate proxies: grain size, magnetic susceptibility, CaCO₃ content and pH value, the paper synthetically analyzed its pedogenesis environmental change and the related sandstorms references during 11 500—3 100 a BP.

Keywords: Holocene; midwest of Guanzhong plain; loess-paleosol sequence; sandstorm activity; pedogenesis process