

文章编号: 1000-0550(2008)01-0144-07

黄河泛滥平原全新世沙尘暴活动的历史记录^① ——以颖河上游一典型剖面为例

李胜利 黄春长 庞奖励

(陕西师范大学旅游与环境学院 西安 710062)

摘要 研究了淮河支流颖河上游嵩山东麓一典型全新世黄土—古土壤剖面, 获得了较高时间分辨率的磁化率、粒度成分和 $> 0.063 \text{ mm}$ 粒级百分比含量等环境代用指标系列。通过地层对比研究, 确定了该剖面的基本年代框架。分析了颖河上游全新世黄土—土壤磁化率、粒度特征, 论证了颖河上游全新世黄土—土壤物质粒度成分与黄河泛滥沉积沙尘暴活动关系, 揭示了颖河上游全新世黄河泛滥平原沙尘暴活动特征。3 100 aBP 以来气候趋于干旱, 黄河下游泛滥频率增加, 风沙活动范围显著扩大, 沙尘暴活动强烈。

关键词 颖河上游 黄河 泛滥平原 沙尘暴活动

第一作者简介 李胜利 男 1977 年出生 讲师 博士研究生 自然地理 E-mail: lishengli@snnu.edu.cn

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

沙尘暴是我国西北和华北干旱和半干旱地区常出现的强灾害性天气, 这种灾害性天气已经越来越受到全世界科学家的广泛关注。风尘沉积则是这一特殊大气动力环境下的产物, 黄土是地质时期沙尘暴形成的风成沉积物^[1], 通过对黄土记录的粒度分析, 可以较好地重建沙尘暴的形成演化历史, 包括形成时的大气动力条件、沙尘暴发生频率及强弱变化等^[2]。淮河支流颖河上游被考古界认为是探索夏先民活动的主要区域之一^[3]。本文对颖河上游嵩山东麓一典型全新世黄土—土壤剖面进行了研究, 分析了颖河上游地区全新世黄土—土壤磁化率、粒度特征, 探讨了颖河上游黄土粒度成分与黄河泛滥沉积沙尘暴活动强度的关系, 进而得出了全新世各阶段黄河泛滥平原沙尘暴活动特征。

1 研究地点与方法

GDZ 黄土—土壤剖面位于淮河支流颖河上游河南新郑县北部的黄土台地 (见图 1)。剖面完整地露在一个砖场取土坑, 土壤学层次与地层学层次都很清晰。从上向下每 4 cm 连续采样, 共采样 75 个。根据野外观察并结合室内分析, 对该剖面进行土壤—地层学划分, 剖面宏观形态特征描述如表 1。通过观察分析, 发现该地区黄土层序结构与黄土高原相同, 所以本文借用黄春长等人在黄土高原地区的研究结果

8 500 ~ 3 100 aBP 作为最适应期 (大暖期) 的起讫时间来研究^[4~7], 这个年代数据与施雅风先生等的研究结果一致^[8], 具有可靠性。通过地层对比研究, 获得了 GDZ 剖面的基本年代框架: 200 cm 深度成壤改造开始出现, 故确定为全新世起点, 根据目前国际上通用的全新世起始时间^[9], 确定其年代为 11 500 aB.P., 165 cm 开始出现强烈的成壤改造作用, 故确定为全新世大暖期的起点, 年代为 8 500 aB.P., 75 cm 深度古土壤 S₁ 成壤终止, 进入了一个最新的黄土堆积阶段, 确定为约 3 100 aB.P., 25 cm 深度现代耕作土壤开始形成, 年龄为约 1 500 aB.P.。由于黄土堆积和气候变化在大范围内具有一致性, 所以剖面各层位的对比和年代的确定是可信的。

野外采集样品经室内风干后, 进行了磁化率、粒度分布的分析测试。磁化率用 Bartington 公司生产的 MS2B 型磁化率仪测定, 对每个样品均进行低频磁化率 (0.47 Hz) 和高频磁化率 (4.7 Hz) 的测定, 取三次测量结果的平均值。粒度采用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer-S 型激光粒度仪进行分析, 测量范围为 0.03 ~ 900 μm 相对误差小于 4%。取有代表性样品 0.5 ~ 0.8 g 放入 1 000 mL 烧杯内, 加入双氧水直到不再放出气泡为止。然后加 10% 的盐酸直到不冒出气泡为止。再注入蒸馏水, 静置 48 h 缓慢抽出上面的液体, 然后将处理后的样品倒入样品池内, 进行

① 国家自然科学基金项目 (批准号: 40571154)、国家自然科学基金项目 (批准号: 40471119)、教育部高校博士点基金 (批准号: 20050718008) 资助。
收稿日期: 2007-03-15 收修稿日期: 2007-05-30

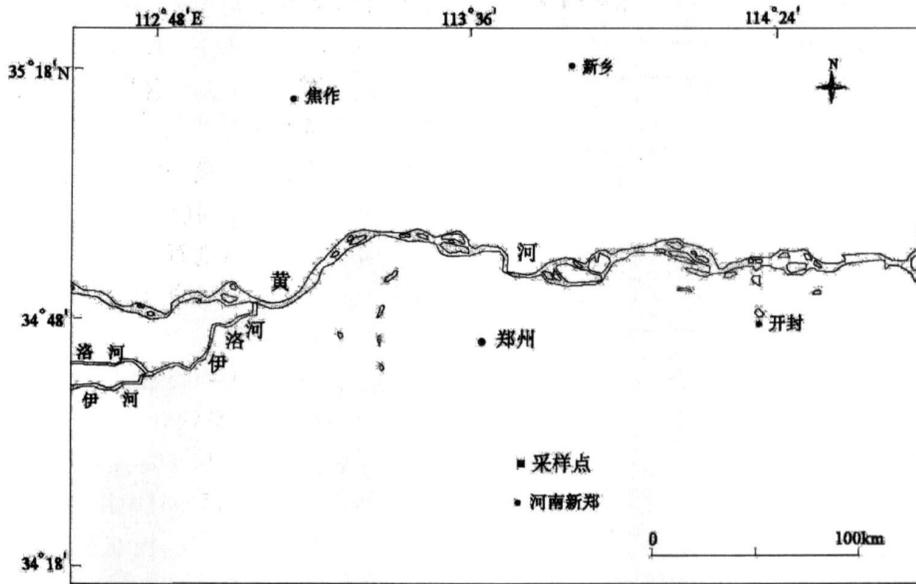


图 1 河南新郑 GDZ剖面位置示意图

Fig 1 Location of GDZ soil profile in Xinzheng County Henan Province

表 1 河南新郑 GDZ全新世黄土—土壤剖面地层学和土壤学特征描述

Table 1 Pedological and stratigraphic descriptions of the soil and sediment in the Holocene loess soil profile at the GDZ site Xinzheng County Henan Province

深度 /cm	地层划分和地层符号	土壤质地和结构特征	地层校正年代 /a B.P.
25~0	表土 (TS)	现代表土层, 浊橙色, 细砂质粉砂土, 团粒结构	1 500~0
75~25	近代黄土层 (L_0)	典型的全新世黄土, 浊黄橙色, 细砂质粉砂土, 结构疏松均质	3 100~1 500
165~75	古土壤 (S_0)	全新世古土壤, 浊红棕色, 粘土质粉砂土, 棱块—棱柱状结构, 坚硬	8 500~3 100
200~165	过渡层黄土 (L_t)	早全新世黄土质过渡层, 浊橙色, 结构疏松	11 500~8 500
?~200	马兰黄土层 (L_1)	马兰黄土, 浊黄橙色, 细砂质粉砂土, 结构疏松均质, 290 cm处见细小钙结核(直径 2~3 cm)	> 11 500

分析测定, 并计算得到中值粒径、平均粒径、标准偏差、偏度和峰态等粒度参数。

2 分析结果

2.1 磁化率

黄土剖面磁化率变化被认为与当地受东南季风控制的降水量变化密切相关^[10~12]。图 2 显示, GDZ 剖面低频磁化率变化于 $45 \times 10^{-8} \sim 126 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $78 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$; 高频磁化率变化于 $43 \times 10^{-8} \sim 112 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $72 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, 总体较低。马兰黄土磁化率值最低, 低频磁化率变化于 $45 \times 10^{-8} \sim 77 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $63 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$; 高频磁化率变化于 $43 \times 10^{-8} \sim 72 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $59 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, 表明马兰黄土形成在冰期的干旱环境当中, 沙尘暴大量堆积粉尘, 几乎没有发生明显地风化成壤作

用。在古土壤层 (S_0) 磁化率值出现最大值, 低频磁化率变化于 $85 \times 10^{-8} \sim 126 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $110 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$; 高频磁化率变化于 $76 \times 10^{-8} \sim 112 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 之间, 平均值达到了 $99 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, 表明在 S_0 形成时期, 气候条件温暖湿润, 生物风化成壤很强烈。另外, 磁化率从马兰黄土向全新世增加的过程中有一较长时间的过渡段, 到全新世古土壤的中上部才达到磁化率的最高值。剖面上低频磁化率和高频磁化率几乎呈现完全相同的变化趋势。

2.2 粒度成分

2.2.1 剖面粒度组成特征

图 3 显示, 剖面粒度成分与黄土高原比较明显偏粗, 最主要的组分为粉砂 ($4 \sim 63 \mu\text{m}$) 和砂 ($> 63 \mu\text{m}$), 其总含量占 90% 以上。按照沉积物的分类法, 该剖面黄土性质为砂质粉砂土。其中粗粉砂 ($16 \sim 63 \mu\text{m}$) 含量变化于 32.1% ~ 55.5% 之间, 平均为

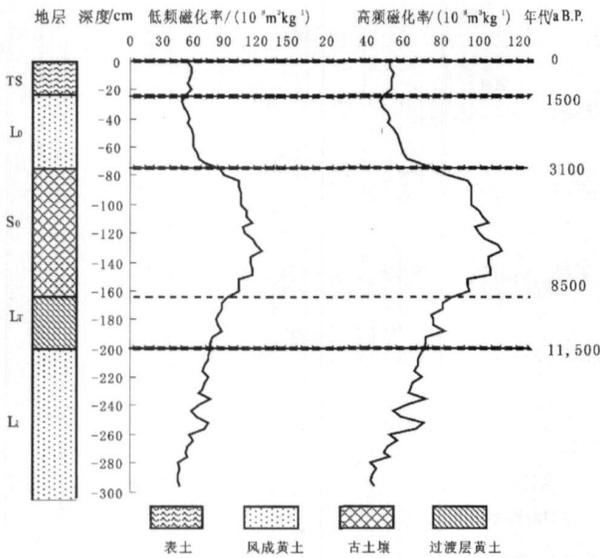


图 2 河南新郑 GDZ 全新世黄土—土壤剖面地层划分与磁化率变化曲线

Fig 2 Curves showing the stratigraphy and magnetic susceptibility in the Holocene loess-soil profile at the GDZ site Xinzheng County Henan Province

46.9%; 细粉砂 (4 ~ 16 μm) 含量变化于 11.1% ~ 25.5% 之间, 平均为 18.3%, 粗粉砂在粉砂 (4 ~ 63 μm 组分中占绝对优势。砂 (> 63 μm) 含量变化

于 15.6% ~ 50.4% 之间, 平均为 26.5%。极细砂 (63 ~ 125 μm) 含量变化于 11.7% ~ 28.8% 之间, 平均为 18.3%。粘粒 (< 4 μm) 含量变化于 5.6% ~ 13.3% 之间, 平均为 8.3%。

2.2.2 剖面各层粒度分布特征

现将 GDZ 剖面各层粒度分析结果绘制百分含量图 (图 4), 可看出该剖面不同层位粒度分布具有如下特征: TS (0 ~ 25 cm) 中粗砂 (250 ~ 1 000 μm) 平均含量为 1.2%, 细砂 (125 ~ 250 μm) 平均含量为 15.4%, 极细砂 (63 ~ 125 μm) 平均含量为 23.5%, 粗粉砂 (16 ~ 63 μm) 平均含量为 38.5%, 细粉砂 (4 ~ 16 μm) 平均含量为 14.6%, 粘粒 (< 4 μm) 平均含量为 6.9%。L₀ (25 ~ 75 cm) 中粗砂平均含量为 0.9%, 细砂平均含量为 15.1%, 极细砂平均含量为 25.3%, 粗粉砂平均含量为 39.8%, 细粉砂平均含量为 12.5%, 粘粒平均含量为 6.4%。S₀ (75 ~ 165 cm) 中粗砂平均含量为 0.3%, 细砂平均含量为 6.0%, 极细砂平均含量为 14.0%, 粗粉砂平均含量为 46.9%, 细粉砂平均含量为 22.1%, 粘粒平均含量为 10.7%。L_r (165 ~ 200 cm) 中粗砂平均含量为 0.2%, 细砂平均含量为 4.9%, 极细砂平均含量为 16.9%, 粗粉砂平均含量为 50.5%, 细粉砂平均含量为 19.5%, 粘粒平

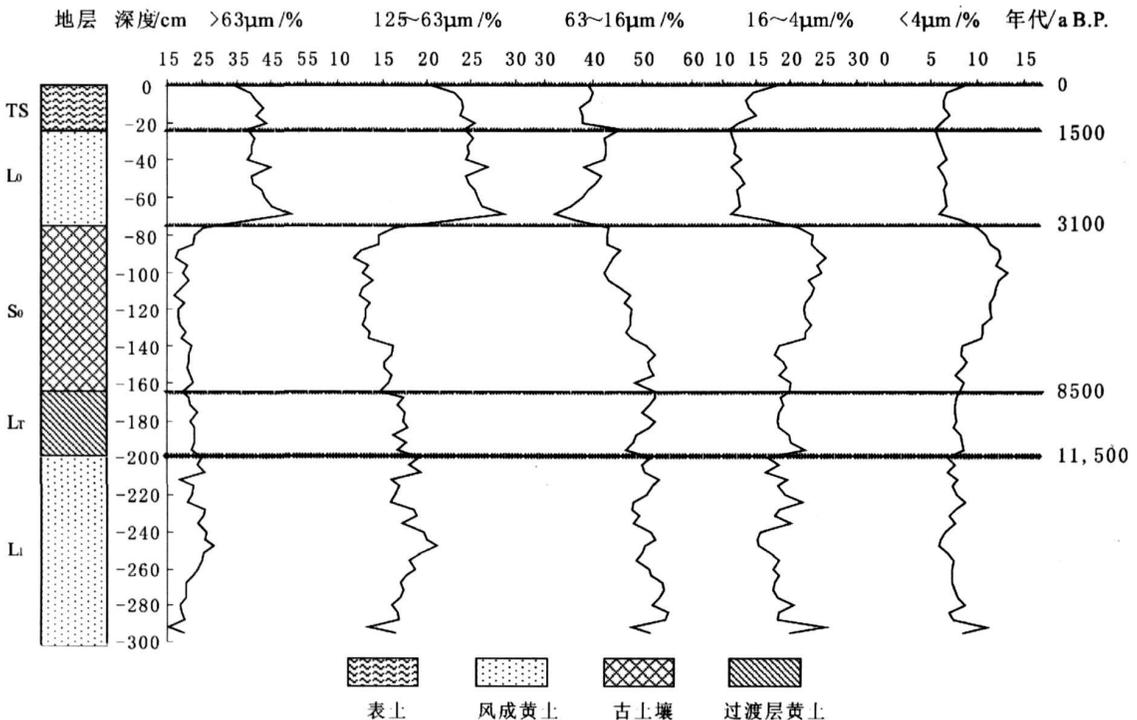


图 3 河南新郑 GDZ 全新世黄土—土壤剖面粒级含量变化曲线

Fig 3 Curves showing the stratigraphy and grain-size distribution in the Holocene loess-soil profile

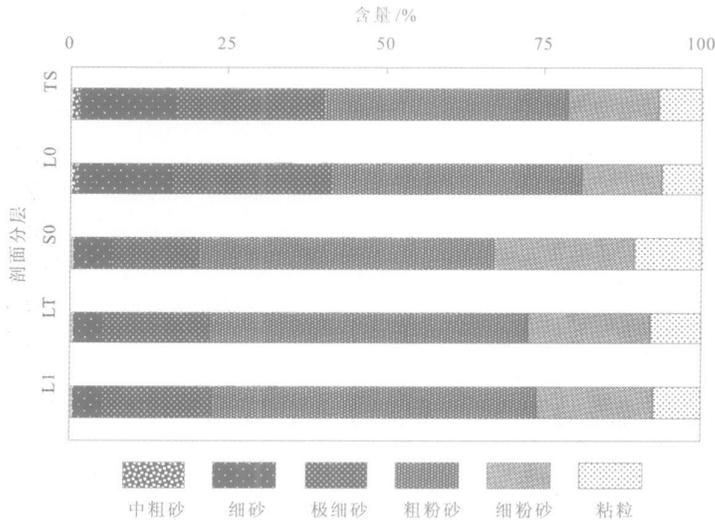


图 4 河南新政 GDZ 黄土—古土壤剖面不同层位各粒级百分含量

Fig 4 Diagram showing the grain-size composition (%) of different layers in the Holocene loess soil profile at the GDZ site Xinzheng County Henan Province

均含量为 8.0%。底部 L₁ (200~296 cm) 中粗砂平均含量为 0.2%, 细砂平均含量为 4.7%, 极细砂平均含量为 17.7%, 粗粉砂平均含量为 51.3%, 细粉砂平均含量为 18.5%, 粘粒平均含量为 7.6%。

2.2.3 剖面粒度参数 Mz, Md, σ, SK, Kg 的变化

粒度参数是反映沉积物性质的重要指标, 野外对

剖面沉积物或者土壤的宏观形态特征观测描述, 在粒度参数曲线上往往会得到印证^[12~14]。粒度参数与形成环境及搬运动力条件具有密切的关系, 常用的粒度参数计算方法包括矩法和图解法两种, 本文采用了矩法计算粒度参数。图 5 显示, GDZ 剖面样品总体属分选较差、正偏态、窄峰态的粒度分布。平均粒径 Mz

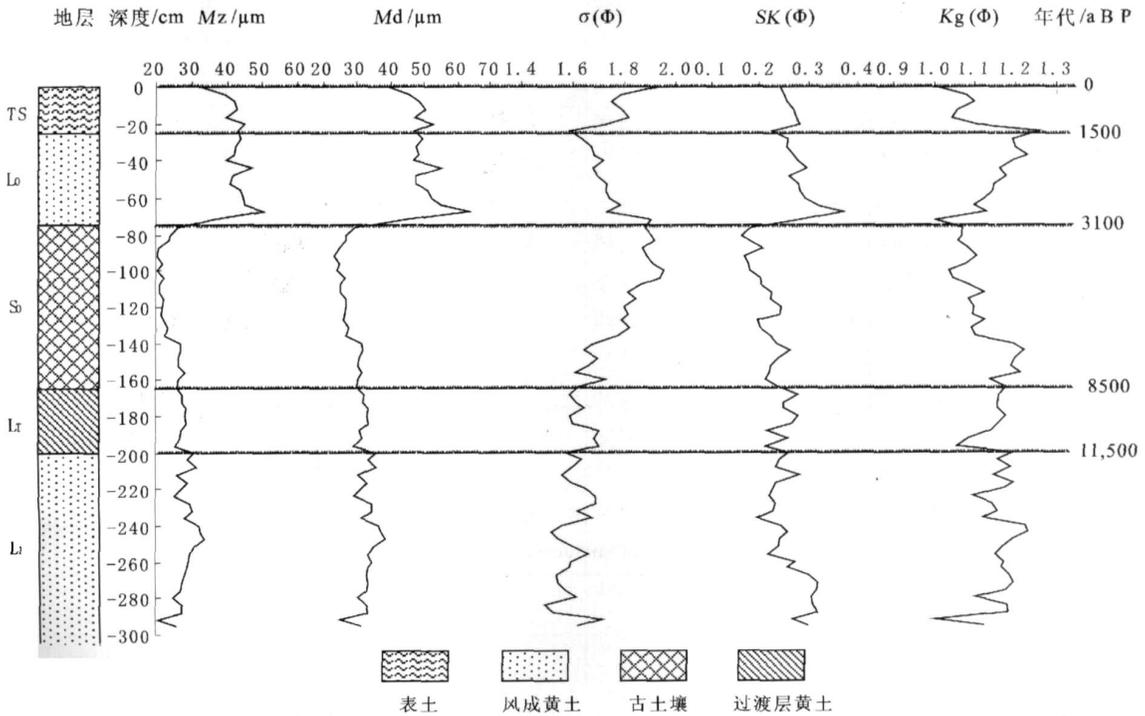


图 5 河南新郑 GDZ 全新世黄土—古土壤剖面粒度参数变化曲线

Fig 5 Curves showing the stratigraphy and grain-size parameters in the Holocene loess soil profile at the GDZ site Xinzheng County Henan Province

变化于 $20.3 \sim 50.4 \mu\text{m}$ 之间, 平均为 $30.5 \mu\text{m}$; 中值粒径 Md 变化于 $23.0 \sim 63.7 \mu\text{m}$ 之间, 平均为 $35.4 \mu\text{m}$; 标准偏差 σ_{ϕ} 变化于 $1.5 \sim 2.0 \phi$ 之间, 平均为 1.7ϕ ; 偏度值 SK_{ϕ} 变化于 $0.17 \sim 0.37\phi$ 之间, 平均为 0.25ϕ ; 峰态值 Kg 变化于 $1.0 \sim 1.3\phi$ 之间, 平均为 1.1ϕ 。

3 分析与讨论

3.1 粒度成分与黄河泛滥沉积沙尘暴活动

黄土粒度是人们研究判断风成沉积的重要指标^[1-19]。大量研究表明黄土粒度不仅与风力强度有关, 而且与源区距离也直接关联, 源区的变化直接影响着粉尘粒度的变化^[16]。对于黄土的粒度变化, 尤其是距离源区较近的剖面粒度变化, 其原因可能有两个方面: 其一代表冬季风强度的变化, 其二代表源区距离的变化。自然, 冬季风强度和源区距离之间也有关系。在距离源区较近, 且源区环境可能有大的变化的地点, 源区距离的影响在粒度变化中起主要的贡献。

根据颖河上游 GDZ 剖面粒度普遍较粗的特点, 我们认为这里黄土物质应以近源为主, 主要来源于黄河在华北平原泛滥沉积的泥沙^[17]。黄河泛滥的结果是在孟津以东形成巨大的黄河冲积扇和广阔的华北大平原, 在气候干旱, 植被缺乏的情况下, 就成为风沙活动区, 形成了大面积的流动沙丘和沙地, 成为沙尘暴和黄土的物源。现代郑州到开封地区近地面风向以季节变换型风向为主, 冬季吹东北风, 夏季吹偏南风, 冬、春季由东北风驱动形成频繁沙尘暴, 这些沙尘暴物质在颖河上游地区沉降堆积, 这正是全新世黄土堆积过程的延续。风成沉积物的粒度在近地面低风的搬运动力条件下, 具有沿风向从源区向沉积区变细的规律。从表 2 可以看出, 由中牟到新郑沿东北—西南方向的主风向上从风沙地到黄土区, 粒度由粗变细, 呈明显的带状分布, 表明黄河泛滥过程形成的冲积物和洪积物的细颗粒物被风力搬运, 沉积在下风

方向, 形成黄土, 而粗颗粒物留在原地形成各种风沙地貌^[18]。由此可以确定颖河上游黄土和土壤的物源主要来自黄河冲积扇的松散冲积物和洪积物。

颖河上游黄土物质来自于黄河改道、泛滥、决口沉积的泥沙, 黄河泛滥沉积物离颖河上游的距离将影响被风所携带的粉尘物质的搬运距离。在风力强度不变的情况下, 同一地点在不同时段堆积的粉尘的粗细将首先取决于这个地区距粉尘源区的远近。分析 GDZ 剖面各个粒级分布状况和粒度参数的变化曲线, 图 5 显示剖面 L_1 、 L_7 、 S_0 层逐渐变细, 到了 L_0 层突然变粗, 平均粒径和中值粒径出现整个剖面的最高值。由图 4 可知, L_0 层突然变粗是由于剖面中细砂 ($125 \sim 250 \mu\text{m}$) 和极细砂 ($63 \sim 125 \mu\text{m}$) 含量迅速升高造成的, 因为 L_0 层粗粉砂 ($16 \sim 63 \mu\text{m}$) 和细粉砂 ($4 \sim 16 \mu\text{m}$) 含量相比 S_0 层反而降低了。分析剖面砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 百分含量变化, 发现在 L_1 、 L_7 、 S_0 中, 这个粒级含量在 20% 左右, 平均含量分别为 22.6%、22.0% 和 20.4%。而在 L_0 层, 砂含量波动在 38% ~ 50% 之间, 平均含量为 41.3%, 即这个粒级在样品中占有相当大的比例。63 μm 是粉砂与砂的分界线, $> 63 \mu\text{m}$ 的颗粒, 一般说来不易被风作长距离的搬运, 因此, 在 L_0 层中砂粒级的大量出现, 指示了最近 3 100 a 来风沙源逼近淮河上游黄土堆积区, 也就是说黄河泛滥沉积区和风沙活动区范围扩大, 风沙活动强度大大增加。因此, 颖河上游黄土粒度变化同时受控于冬季风强度变化和黄河泛滥范围的变化, 可看作是黄河泛滥平原沙尘暴活动的一个代用指示。砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 可作为黄河泛滥平原范围扩大的一个直接指标。

3.2 颖河上游全新世黄河泛滥平原沙尘暴活动特征

通过对该剖面粒度数据资料的全面分析, 认为颖河上游全新世黄河泛滥平原沙尘暴活动经历了三个阶段:

全新世早期 (11 500 ~ 8 500 a B. P.), 气候开始由冷干向温湿过渡, 气温回升, 但仍相当干旱, 降水量

表 2 中牟到新郑沿东北—西南方向冬春季的主风向上表土粒度

Table 2 Grain-size distribution of surface soil between Zhongmu and Xinzheng

地点	Mz μm	Md μm	$< 4 \mu\text{m}$ %	$4 \sim 16 \mu\text{m}$ %	$16 \sim 63 \mu\text{m}$ %	$63 \sim 125 \mu\text{m}$ %	$125 \sim 250 \mu\text{m}$ %	$> 250 \mu\text{m}$ %
中牟贾庄村	88.5	85.9	5.7	3.9	30.2	20.1	21.2	18.9
中牟彦张村	62.6	77.1	8.8	8.8	28.8	12.9	27.6	13.2
新郑格大张	40.4	47.4	6.9	14.6	38.5	23.5	15.4	1.2
新郑裴李岗	17.7	22.6	15.8	25.2	44.6	13.0	1.40	

较低。过渡层 L_T (165 ~ 200 cm) 平均粒径 M_z 为 27.3 μm , 粉砂含量最高, 粗粉砂平均含量为 50.5%, 细粉砂平均含量为 19.5%, 砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 含量次之, 平均为 22.0%。磁化率从马兰黄土向全新世增加的过程中有一较长时间的过渡段, 平均粒径 M_z 波动变化略有下降, 粗粉砂、砂含量较高, 表明当时沙尘暴活动仍较强烈。砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 含量比 L_1 层略有下降表明当时黄河泛滥范围逐渐减小, 风沙活动区逐渐缩小, 加之沙尘暴活动强度下降, 所以 L_T 比 L_1 粒度变细。

全新世中期 (8 500 ~ 3 100 a B. P.) 是全新世最为温暖湿润的时期。古土壤层 S_0 (75 ~ 165 cm) 平均粒径 M_z 为 23.6 μm , 粉砂含量最高, 粗粉砂平均含量为 46.9%, 细粉砂平均含量为 22.1%, 砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 含量次之, 平均为 20.4%, 粘粒平均含量显著增加, 平均为 10.7%。磁化率值出现全剖面最大值, 平均粒径 M_z 出现全剖面最小值, 粘粒含量增加, 出现全剖面最大值, 砂含量逐渐降低, 表明在 S_0 形成时期, 气候条件温暖湿润, 沙尘暴活动很弱, 生物风化成壤很强烈。在大暖期的早期, 气候凉爽半湿润, 随后气温逐渐升高, 粘粒含量逐渐升高, 而粗粉砂显著减少, 这说明该区当时受东南季风影响显著, 沙尘暴较少发生, 风尘堆积速率减弱, 土壤的生物风化成壤作用强烈。砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 含量降低表明当时黄河泛滥范围减小, 风沙活动区缩小。

全新世晚期 (3 100 ~ 0 a B. P.) 从 3 100 a B. P. 开始, 气候向着干旱化发展, 降水量减少, 植被退化, 土壤生物活动减弱。风成黄土层 L_0 (25 ~ 75 cm) 明显变粗, 平均粒径 M_z 为 43.2 μm , 砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 含量剧增, 平均为 41.3 μm , 出现全剖面的最大值, 粉砂含量降低, 粗粉砂平均含量为 39.8%, 细粉砂平均含量为 12.5%, 粘粒含量明显下降, 平均为 6.4%。 L_0 层中砂 ($> 63 \mu\text{m}$) 组分的大量出现, 指示了最近约 3 100 年以来由于气候突变, 黄土高原植被退化, 水土资源恶化, 降水变率大, 加之人类活动的影响不断增强, 水土流失导致黄河泥沙大增, 黄河下游泛滥频率增加, 范围扩大。进而导致颍河上游 GDZ 剖面 L_0 层中砂含量剧增, 河南新郑等地堆积古风沙层。据历史记载, 3 000 a 以来黄河决口有 1 757 次, 8 次改道, 每次改道后都在原主流河道中留下高出河床两岸几米甚至十几米的沙带, 曾多次波及豫东、豫北地区。自秦以来 2 000 余年间, 黄河在开封决口有显著记载就有 56 次。兰考位于黄河故道的中心, 近 400 年间, 黄河在这里决口 29 次。黄河在中牟境内曾决口 104 次。

4 结论

综上所述, 可以得到如下结论:

(1) 颍河上游全新世黄土—土壤物质是近源堆积, 主要来源于黄河在华北平原泛滥沉积的泥沙, 产生和搬运堆积的动力是东北风。

(2) 颍河上游黄土粒度变化同时受控于冬季风强度变化和黄河泛滥范围的变化, 可看作是黄河泛滥平原沙尘暴活动的一个代用指示。

(3) GDZ 剖面剖面磁化率和粒度对比分析, 揭示了颍河上游全新世黄河泛滥平原沙尘暴活动经历了三个阶段。3 100 a B. P. 以后气候趋于干旱, 由于气候突变, 黄土高原植被退化, 水土资源恶化, 降水变率大, 黄河泛滥频率大大增加, 沙尘暴活动强烈。

参考文献 (References)

- 1 刘东生, 等. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 191-207 [Liu Tunsheng et al. Loess and the Environment [M]. Beijing: Science Press, 1985: 191-207]
- 2 戴雪荣, 李吉均, 俞立中, 等. 兰州风尘沉积的粒度分布模式及其古气候意义 [J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 36-42 [Dai Xuerong, Li Jijun, Yu Lizhong et al. Model of grain-size distribution of the eolian deposits in Lanzhou area and its paleoclimatic significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 36-42]
- 3 宋豫秦, 虞琰. 夏文明崛起的生境优化与中国城市文明的肇始 [J]. 中原文物, 2006 (3): 41-51 [Song Yuqin, Yu Yan. Optimization of living space of civilization of Xia Dynasty and the beginning of city civilization of China [J]. Cultural Relics of Central China, 2006 (3): 41-51]
- 4 庞奖励, 黄春长, 张占平. 陕西岐山黄土剖面 Rb-Sr 组成与高分辨率气候变化 [J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 637-641 [Pang Jian-gli, Huang Chunchang, Zhang Zhanping. Rb-Sr elements and high resolution climatic records in the Loess Paleosol Profile at Qishan, Shanxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 637-641]
- 5 黄春长, 庞奖励, 陈宝群, 等. 渭河流域先周一西周时代环境和水土资源退化及其社会影响 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(4): 404-414 [Huang Chunchang, Pang Jiangle, Chen Baoqun et al. Land degradation and its social impact in the Weihe river drainage basin during the prehistoric Zhou western Zhou dynasty [J]. Quaternary Sciences, 23(4): 404-414]
- 6 Huang C G, Pang J L, Chen S E. Holocene dust accumulation and the formation of poly-cyclic cinnamon soils in the Chinese Loess Plateau [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28(12): 1259-1270
- 7 Huang C G, Pang J L, Zhou Q Y, et al. Holocene pedogenic change and the emergence and decline of rain-fed cereal agriculture on the Chinese Loess Plateau [J]. Quaternary Science Reviews, 2004, 23(23-24): 2525-2535

- 8 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征 [C] // 施雅风, 主编. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992: 1-18 [Shi Ya Feng Kong Zhao Cheng Wang Su Min et al. Basic features of climatic and environments during Holocene Megathemal in China [C] // Shi Ya Feng ed. The Climatic and Environments during Holocene Megathemal in China. Beijing: China Ocean Press, 1992: 1-18]
- 9 Paul A Mayewski, Eelco E Rohling, J Curt Stager, et al. Holocene climate variability [J]. Quaternary Research, 2004, 62: 243-255
- 10 Han JM, L H Y, Wu N Q, et al. Magnetic susceptibility of modern soils in China and climate conditions [J]. Studia Geophysica et Geodetica, 1996, 40: 262-275
- 11 Maher B A. Magnetic properties of modern soil and Quaternary loessic palaeosols: palaeoclimatic implications [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 1998, 137: 25-54
- 12 Huang C G, Pang J L, Zhao J B. Chinese loess and the evolution of the East Asian monsoon [J]. Progress in Physical Geography, 2000, 24(1): 75-96
- 13 孙东怀, 鹿化煜, David Rea 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 327-335 [Sung Donghuai, Lu Huayu, David Rea, et al. Binodal grain-size distribution of Chinese Loess and its paleoclimate implication [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 327-335]
- 14 Ding Z L, Yu Z, Rutter N W, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits [J]. Quaternary Science Reviews, 1994, 13: 39-70
- 15 Pye K. Aeolian dust and dust deposits [M]. London: Academic Press Inc Ltd, 1987: 29-68
- 16 丁仲礼, 任剑璋, 刘东生, 等. 晚更新世季风-沙漠系统千年尺度的不规则变化及其机制问题 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26(5): 385-391 [Ding Zhongli, Ren Jianzhang, Liu Dongsheng, et al. Irregular change of monsoon-desert system on a millennial scale and its mechanism [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(5): 385-391]
- 17 杨一鸣, 黄春长, 庞奖励. 淮河上游全新世风成黄土-土壤物质来源研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 43-46 [Yang Yiming, Huang Chunchang, Pang Jiangli. Source of the Holocene aeolian loess soil in the upper reaches of the Huaihe river [J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(1): 43-46]
- 18 马程远. 豫东、豫北风沙问题的初步分析 [J]. 中国沙漠, 1982(2): 17-25 [Ma Chengyuan. Preliminary analysis of the sand-driving wind in East Henan and North Henan [J]. Journal of Desert Research, 1982(2): 17-25]

Records of the Holocene Sandstorm Activity in the Yellow River Floodplain: a case study of GDZ Profile in Upper Reaches of the Yinhe River

LI Sheng-li HUANG Chun-chang PANG Jiang-li

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract A Holocene loess soil profile is studied on the river terraces, hills and plateaus of the east piedmont of the Songshan Mountain in the upper reaches of the Yinhe River as a tributary of the Huaihe River. Higher resolution proxy data of magnetic susceptibility, particle-size distribution and $>0.063\text{ mm}\%$ were obtained from the profile. Chronology framework of the data series was decided by a stratigraphic correlation. Based on analysis of characteristic of magnetic susceptibility and grain-size of the loess soil profile, the paper discussed the relation of the grain-size distribution of loess soil sequences in the upper reaches of the Yinhe River and the sandstorm activity in the Yellow River floodplain, then probed into the characteristic of the sandstorm activity during the Holocene climatic various stages in the Yellow River floodplain. During the late Holocene (3100~0 a B.P.) while the climate was tended to become arid, the flooding frequency in the lower reaches of the Yellow River was increasing, the area of dust activity extending, the sandstorm activity intensity was more strong.

Key words Upper reaches of the Yinhe River; Yellow River floodplain; sandstorm activity