

郑州全新世黄土的颗粒形态特征及其环境意义

庞奖励^{1,2}, 黄春长¹, 查小春¹, 祝一志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: 用偏光显微镜和图像处理软件对黄土颗粒形态进行观察和定量分析, 用激光粒度仪测量黄土的粒度分布。结果表明: 郑州地区黄土中颗粒的一般呈次圆状-圆状, 具有较高的圆度和球度; 矿物组合以石英和长石占绝对优势, 但郑州黄土中石英/长石比值和 $C/F_{(10\mu m)}$ 值高于关中黄土; 郑州黄土粒度峰值集中在 50~80 μm 且曲线形态较陡, 而关中黄土粒度峰值在 20~40 μm 且曲线形态较缓。综合分析认为, 郑州地区黄土可能来源于孟津以东的黄河冲积扇, 应属于近源黄土。

关 键 词: 颗粒形态; 黄土; 郑州地区; 关中地区

中图分类号: P931.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2008)05-0683-05

黄土高原被认为是来自西北荒漠地区的风尘堆积所成, 科学家利用其广布的黄土-古土壤序列初步揭示了晚更新世以来的气候变化历史^[1-12]。在黄土高原的东南部, 分布有大片较厚的不同时代的黄土, 一些专家对其研究后认为这些黄土的形成与黄土高原可能有所不同, 初步认为这些黄土并非来自于西北荒漠地区的风尘堆积所成, 应是来自高纬偏北冬季风把黄河冲积物吹扬、搬运至此并快速沉降堆积所成, 具有粒度偏粗、沉积速率高等特点, 它们也记录也含有气候变化的信息^[13-18]。上述研究结果中, 主要从粒度分布的角度探讨这些黄土的特征和成因及其环境意义, 但是对颗粒自身形态特征缺少直接研究。本文通过对郑州以南地区全新世黄土颗粒形态特征和矿物组成变化的研究, 并与黄土高原南部的黄土进行了对比, 试图探讨这些黄土的成因, 为研究这一地区的黄土成因和环境演变研究提供直接证据。

1 实验材料和研究方法

本文选择裴李岗 (PLG)、十八里河 (SBIH)、老官台 (LGT) 和蒋杨村 (JYC) 剖面作为研究对象。郑州属暖温带半湿润季风气候, 年均气温和降雨分别约 14.4℃和 680mm。PLG 剖面位于新郑县双洎河三级阶地 (113°39'E, 34°26'N, 海拔 132m),

阶地地面分布有完整的晚更新世以来黄土, 其中全新世剖面厚度 135cm, 古土壤 S_0 下部有大量裴李岗文化期的碎陶片。SBIH 剖面位于郑州南十八里河的黄土台地 (113°36'E, 34°30'N, 海拔 128m), 晚更新世以来黄土连续分布, 其中全新世部分厚 125cm。关中地区位于黄土高原南缘 (粘黄土区), 属暖温带半湿润季风气候, 年均气温 12~14℃, 年均降雨 600~750mm。LGT 剖面位于华县渭河南岸二级阶地上 (109°43'E, 34°29'N, 海拔 365m), 晚更新世以来黄土出露完整, 全新世部分厚度 300cm, 古土壤 S_0 下部可见老官台文化期的碎陶片。JYC 剖面位于扶风县渭河北岸的黄土台塬面 (107°39'E, 34°27'N, 海拔 685m), 晚更新世以来黄土出露完整, 其中全新世剖面厚 260cm。在上述 4 个剖面中, 马兰黄土上部和全新世地层较好地保存下来, 均具有完整的全新世黄土-古土壤序列 ($MS-L_0-S_0-L_1-L_2$)。

对每个剖面分别取两组样品。一组为用于理化性质分析的全岩样, 从地表开始, 向下每 2cm 连续采样。另一组为用于微形态分析的块样, 向下每 5cm 连续采样。采样深度至马兰黄土顶部以下约 40cm。由于本研究重在探究沉积物的成因问题, 故选择风化相对弱的典型黄土 (L_0) 进行粒度分布和颗粒形态研究, 每个剖面选择 15~25 个样品。

收稿日期: 2007-09-29 修订日期: 2007-12-04
基金项目: 国家自然科学基金项目 (40471119, 40571154)、黄土与第四纪地质国家重点实验室基金 (SKLLQG0604)、陕西省自然科学基金 (2006D01) 项目资助。
作者简介: 庞奖励 (1963-), 男, 陕西西安市人, 教授, 博士, 主要从事资源开发与环境演变的研究。E-mail: jlpang@snnu.edu.cn

文中所涉实验在陕西师范大学环境演变实验室完成。粒度分析方法同参考文献[18]。薄片在 Leica 偏光显微镜下观察,微形态参数(参数含义参见有关表注释)的测量用 NIKON NIS-ELments BR2 2 软件完成。为了保证颗粒微形态数据的代表性和减少不均性,采用两种方法,一是每个薄片至少采集 6 张图像进行分析统计,然后取平均值;二是对图片拼接,相邻 4~6 张照片合并后再进行分析。由于受到显微镜分辨率的限制,文中的颗粒形态指粒径大于 10 μm 颗粒。

2 结果和讨论

显微镜下观察发现, LGT 和 JYC 剖面的颗粒形态相似, LGT 和 SBLH 剖面的颗粒形态相似。进一步对比显示, 郑州黄土颗粒的形态与关中黄土有显著不同, 主要表现为: 郑州黄土的粗颗粒一般呈次圆状-圆状, 棱角不明显, 不规则形居多, 以长宽比小为特征(图 1~2); 而关中黄土一般呈次棱角状-棱角状, 棱角较明显, 有长条形、三角形、不规则形(图 3~4)。这种形态特征表明郑州黄土在搬运过程中颗粒经历了更强烈或更长时间的磨蚀作

用, 而关中黄土的颗粒在搬运过程中经历了较弱的磨蚀作用。镜下测量显示, 尽管两个地区颗粒粒径的分布范围基本一致, 但郑州黄土粒径分布比较集中, 而关中黄土分布范围较宽(图 5D), 这导致了郑州黄土的颗粒平均长度大于关中黄土(表 1)。激光粒度仪分析结果表明, 郑州黄土粒度峰值在 50~80 μm, 其粒度频率曲线形态更陡峻, 而关中黄土峰值在 20~40 μm, 粒度频率曲线形态相对低缓(图 6), 这种颗粒分布趋势也证实上述现象。小于 75 μm 的粉尘在大气中主要以悬浮状态存在, 10~50 μm 粒级被认为是为风成的基本粒子^[19], 这说明关中和郑州黄土的颗粒均落入风积物的粒级范围内, 暗示两地黄土均系风积物。但粒度分布反映郑州黄土是一种以粗粉砂为主的砂黄土, 而关中黄土属于粘黄土。从自然地理位置看, 郑州在关中地区以东, 如果郑州黄土与黄土高原有相同的源区, 其距源区更远, 黄土粒度整体应该比关中盆地更细, 但实验结果正好相反, 这暗示郑州地区黄土并非来自西北荒漠的远源物质, 可能与关中黄土有不同的来源。

表 1 郑州和关中地区全新世黄土粗颗粒形态特征(显微镜下分析结果)

Table 1 Coarse grain features of Holocene loess at Zhengzhou and Guanzhong areas, China

	剖 面	面积 (μm ²)	等圆直径 (μm)	周长 (μm)	长度 (μm)	长/宽	圆度
关中地区	JYC	285.2	14.6	97.7	24.6	1.92	0.377
	LGT	282.0	13.9	97.6	24.8	1.86	0.362
	平均	283.6	14.4	97.7	24.7	1.89	0.370
郑州地区	LBIH	497.6	18.5	101.4	29.8	1.72	0.516
	PLG	781.4	20.7	114.5	32.9	1.72	0.532
	平均	639.5	19.6	108.0	31.4	1.72	0.524
郑州/关中比值		2.25	1.38	1.11	1.27	0.91	1.42

注: 圆度 = $(4 \times \pi \times \text{面积}) / (\text{周长} \times \text{周长})$; 等圆直径 = 与颗粒面积相等的圆直径。

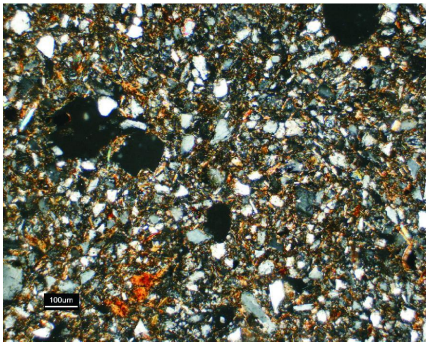


图 1 PLG 剖面黄土, 正交偏光 (10×10)

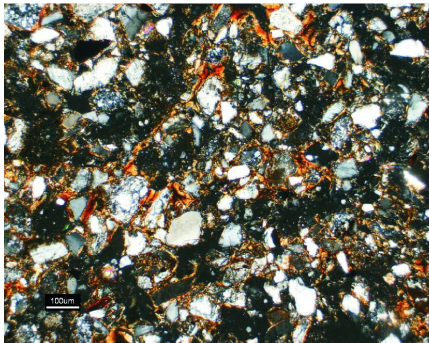


图 2 SBLH 剖面黄土, 正交偏光 (10×10)

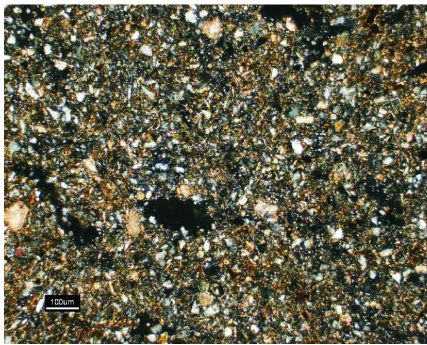


图 3 JYC剖面黄土, 正交偏光 (10×10)

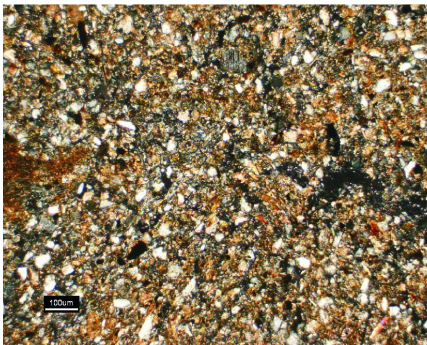


图 4 LGT剖面黄土, 正交偏光 (10×10)

Fig 3 Loess at JYC profile (crossed polarised light 10×10)

Fig 4 Loess at LGT profile (crossed polarised light 10×10)

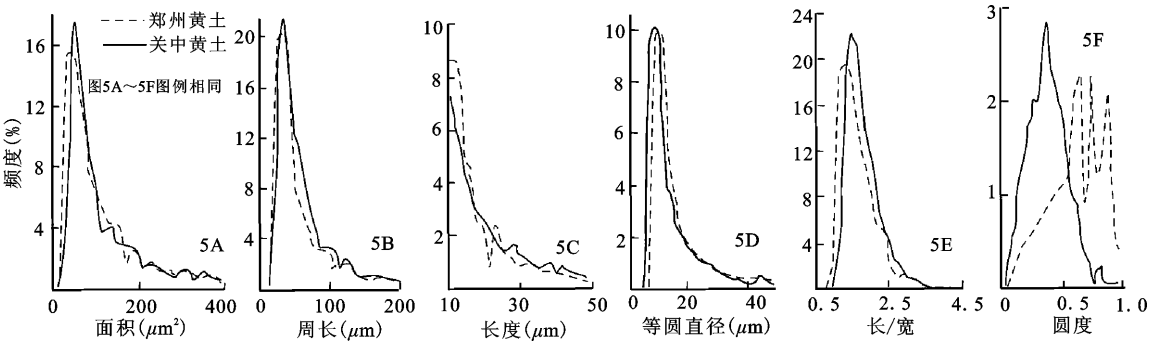


图 5 郑州黄土和关中黄土粗颗粒特征比较

Fig 5 Coarse-grain comparison between Zhengzhou and Guanzhong loess

颗粒形态的参数(如面积、等圆直径、周长、圆度、 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 等)反映了颗粒趋于球形的程度,能够指示颗粒的磨蚀程度。郑州黄土中,上述参数的数值显著高于关中黄土(表 1、2 图 5),即郑州/关中的比值均大于 1,这表明其形态趋于球形的程度显著高于关中黄土,具有更高的磨圆度或磨蚀程度,显示流水作用的痕迹,暗示这些颗粒可能曾经过较强的水力磨蚀过程。镜下对矿物组成进行的统计表明,尽管不同黄土的主要矿物均以石英和长石占绝对优势(图 1~4)。但与关中黄土相比较,郑州黄土为不仅“石英+长石”所占比例较高,而且石英所占比例更高,表现为石英/长石比值远远高于前者(见表 2),而云母的含量显著降低。

在豫东平原地区常年风向以东北风为主,而

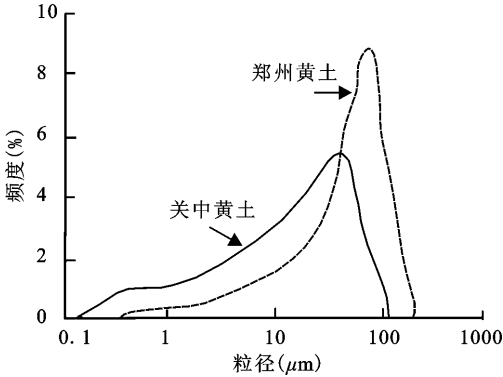


图 6 激光粒度仪分析结果

Fig 6 Loess particle size distribution determined with a Malvern Mastersizer

且风力强劲^[20~22],完全有可能成为驱动地面细小

表 2 郑州黄土和关中黄土粗颗粒形态比较

Table 2 Coarse-grain comparison between Zhengzhou and Guanzhong loess

地区	K_1	K_2	K_3	K_4	圆度	长石(%) / 石英(%)
关中黄土	0.087	1.733	0.253	1.888	0.370	1:1.5~1:2.5
郑州黄土	0.049	1.599	0.290	1.720	0.524	1:2~1:4
郑州/关中	1.777	1.084	0.871	1.098	0.716	

K_1 = 长度(μm) / 面积(μm²); K_2 = 长度(μm) / 等圆直径(μm); K_3 = 长度(μm) / 周长(μm); K_4 = 长(μm) / 宽(μm)

物质形成沙尘暴的动力。对郑州－开封一带的现代沙丘及土壤粒度分析发现,由开封→新郑方向,平均粒度由粗变细,明显的带状分布(表3),这暗示从东北向西南方向,源区的细颗粒物质被风力搬运到更远的下风方向堆积,形成黄土,而较粗的物质在近源附近堆积或滞留原地。由此不难看出,无论是颗粒的空间分布趋势或颗粒形态特征均将黄土颗粒的来源指向东北方向,即黄河冲积扇。实际上,黄河冲积扇上分布有十分丰富的松散冲积物和洪积物,完全有条件和有能力提供丰富的粉尘物,成为这些黄土的物源。

表 3 开封到新郑沿线风沙土和黄土粒度组成统计

Table 3 Statistical data for grain-grain of bess

at Ka feng-X inzheng areas

地点	> 250 μm	250~ 100 μm	< 100 μm
	(%)	(%)	(%)
郑州小营村 ^①	12.1	80.2	7.7
开封杏花营南沙堂 ^①	22.2	56.4	21.4
中牟仓寨	7.0	18.5	74.5
郑州十八里河	0.1	13.4	86.5
新郑八千镇	0	9.4	90.6
新郑裴李岗	0	4.0	96.0

① 据中国科学院黄土高原综合考察队,1990

从黄河中游流域的现代地形看,黄河在通过三门峡－小浪底的峡谷地形后,河床迅速变宽,水流迅速分散,导致黄河搬运能力急剧下降,所携带的大量泥沙迅速沉积,在孟津以东形成巨大的黄河冲积扇和广阔的华北大平原。全新世以来的地貌格局与现在相比,应该并无多大变化,历史时期的黄河河道变迁和泛滥是全新世以来的延续。黄土高原侵蚀所产生的泥沙是黄河中泥沙最主要的来源。黄土高原由风积物所构成^[19],因此其所产生的泥沙粒度分布必然在风积物的粒度范围内。从黄土高原到黄河冲积扇,这些源于风积物的泥沙经历了数百公里的河流搬运,在这一过程中,在水流不断的磨蚀作用下,颗粒的棱角被不断磨蚀和磨圆,结果是棱角明显的原始风成颗粒趋于圆化和球形化,圆度增加和长宽比降低。黄河通过三门峡－小浪底的峡谷后,河流流速迅速减缓,产生的分选作用使较粗的颗粒被沉降下来,而更细的颗粒继续随河水流向下游迁移。同时,分选作用也产生矿物上的分选,更多的石英被沉积下来(即与黄土高原风积物相比,石英所占比例大大增加)。这些特征与郑州黄土颗粒所显示的颗粒球度和磨圆度高、平

均粒径较粗且范围集中、石英矿物比例高的特征相一致。以上分析说明,郑州黄土颗粒既具有风力搬运的粒度分布特征,也有明显水力搬运的颗粒形态特征,是一种以粗粉砂为主要组分的近源黄土,其极可能来自于黄河冲积扇,甚至于华北平原。

3 结 论

1) 郑州地区黄土中的粗颗粒一般呈次圆状－圆状,具有较高的圆度和球度。矿物组合以石英和长石占绝对优势,石英/长石比值和 C/F_(10 μm) 远远高于与关中地区黄土。

2) 郑州黄土和关中黄土的粒度分布范围相同,但前者的粒度峰值分布在 50~ 80 μm 区间,属于较粗的砂黄土,而后的粒度峰值出现在 20~ 40 μm 区间,属于粘黄土。

3) 郑州地区黄土的物质很可能来源于孟津以东的黄河冲积扇,属于近源砂黄土,与关中黄土的物源不同。

致谢: 在野外和室内工作中得到张健、张旭的帮助,在此| 并表示衷心的感谢。

参考文献:

[1] 李丰江, 吴乃琴, Denis-Didier Rousseau 黄土高原秦安中新世黄土－古土壤序列的蜗牛化石初步研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 2006, 36 (5): 438~ 444

[2] 徐树建, 潘保田, 高红山, 等. 末次间冰期－冰期旋回黄土环境敏感粒度组分的提取及意义 [J]. 土壤学报, 2006, 143 (12): 183~ 189

[3] 杨 东, 方小敏, 彭子成. 陇西六盘山黄土及最近 1.8 Ma B. P. 以来的构造运动与气候变化 [J]. 地理科学, 2006, 26 (2): 192~ 198

[4] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系 [J]. 地理科学, 2005, 25 (4): 441~ 447.

[5] 毛龙江, 黄春长, 庞奖励. 泾河中游地区全新世成壤环境演变研究 [J]. 地理科学, 2005, 25 (4): 478~ 483.

[6] 庞奖励, 黄春长. 关中地区新石器文化发展与环境演变耦合关系研究 [J]. 地理科学, 2003, 23 (4): 449~ 454

[7] 贾蓉芬, 彭先芝. 西峰剖面有机质记录的黄土高原 L₆－L₁ 古湿度演变 [J]. 地理科学, 2004, 24 (6): 693~ 697.

[8] Sun D H, B b m e n d a l J R e a D K, et al. Grain size distribution function of poly modal sed in e n t s in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sed in e n t a r y c o m p o n e n t s [J]. Sed in e n t a r y G e o l o g y, 2002, 152: 263 - 277

[9] 熊尚发, 刘东生, 丁仲礼. 两个冰期－间冰期旋回的黄土记录及其古气候意义 [J]. 地理科学, 2002, 22 (1): 18~ 23

[10] 赵景波. 西安和宝鸡第 5 层古土壤铁质粘土结核的发现与研究 [J]. 地理科学, 2002, 22 (4): 420~ 427

[11] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. Nature, 2002, 416: 159~ 163.

[12] Xiao J L, Porter S C, An Z S, et al. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Loess Plateau of central China during the last 130 000 yr [J]. Quaternary Research, 1995, 43 (1): 22~ 29.

[13] 吴锡浩, 蒋复初, 肖华国, 等. 中原邙山黄土及最近 200 ka 构造运动与气候变化 [J]. 中国科学 (D 辑), 1999, 29 (1): 75~ 81.

[14] 季军良, 郑洪波, 刘 锐, 等. 邙山黄土地层再研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(4): 101~ 107.

[15] 蒋复初, 王书兵, 赵志中, 等. 中原邙山黄土与末次间冰期以来的古季风特征 [J]. 地质论评, 2004 50(5): 554 ~ 560.

[16] 杨革联, 赵希涛, 朱日祥, 等. 河南荥阳孤柏嘴黄土剖面磁性地层学初步研究 [J]. 现代地质, 2001, 15(1): 35 ~ 39.

[17] 曾庆有, 郑洪波, 朱日祥, 等. 邙山黄土 Laschamp 事件的缺失及成因探讨 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002 22(1): 89~ 95.

[18] 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.

[19] 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985 1~ 412.

[20] 马程远. 豫东、豫北风沙问题的初步分析 [J]. 中国沙漠, 1982, 29(2): 17 ~ 24.

[21] 张 霞, 王建玲, 闫惠芳. 郑州地区沙尘暴天气的气候特征分析 [J]. 河南气象, 2002 (3): 19 ~ 20.

[22] 付光轩, 刘军臣, 刘和平. 近 40 年河南沙尘暴、扬沙和浮尘气候特征分析 [J]. 河南气象, 2002, (1): 22 ~ 24.

M icromorphological Features of Particles of Holocene Loess at Zhengzhou Areas, China and Their Environmental Significance

PANG Jiang-Li^{1, 2}, HUANG Chun-Chang¹, CHA Xiao-Chun¹, ZHU Yi-Zhi²

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

Abstract Using the particle data obtained from the Holocene soil profile at LGT, JYC sites in the Guanzhong area and at PLG, SBIH sites in the Zhengzhou, this article attempts to illustrate the material source of Zhengzhou loess and its environmental significance. The micromorphology was observed under a petrographic microscope, and its image was quantitatively measured by NIKON NIS-Elements BR2.2 software. Particle size distribution was determined by a Malvern Mastersizer-S and with Na4P2O7 as a dispersant. Micromorphological observation of the thin sections shows that the grain-shape of Zhengzhou loess is characterized by sub-round or round, with higher length/width ratio, and that of the Guanzhong loess by sub-angular or angular, with strip, triangular and irregular shapes. Comparison with the Guanzhong loess, the coarse of Zhengzhou loess is characterized by higher Length, Area, Equivalent Diameter, Perimeter, Elongation and Roundness, and K_1, K_2, K_3, K_4 value are more than 1. It suggests that the particle in the Zhengzhou loess has higher roundness and sphericity and has gone through stronger hydraulic abrasion. The assemblage of minerals in both loess is mainly composed of Q and Pl. However, Q+Pl content, Q/Pl ratio and $C/F_{10\mu m}$ ratio are clearly higher in Zhengzhou loess than in Guanzhong loess. Research results show that particle-size of both loess falls in the same range, within particle-size range of aeolian, but peak value of particle-size of Zhengzhou loess ranges in 50-80 μm with steep particle-size curve and that of Guanzhong loess is in 20-40 μm with slow particle-size curve. All the results of this study suggest that Zhengzhou loess is aeolian, which has synchronously both aeolian and alluvium features. However, its material source differs from Guanzhong loess, and it came from various base river sediments at the Huanghe (Yellow) River alluvial fan in the east of Mengjin and transported by northeasterly wind.

Key words micromorphology; grain; loess; Zhengzhou; Guanzhong