

DOI:10.11766/trxb201409110458

青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究*

张玉柱 黄春长[†] 庞奖励 周亚利 周强 郭永强 尚瑞清

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要 采用 Leica-DMRX 偏光显微镜对喇家遗址剖面不同土壤发生层的薄片进行了观察和影像定量分析,旨在阐明青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层和现代耕作土壤层的发育过程和微形态特征。齐家文化时期古耕作土壤层(Ah₂/Ap₄)的微形态特征主要表现为粗颗粒呈现圆状-次圆状, C/F_{15μm} 值呈现低值,排列显示弱定向,常见亚胶膜状和团聚状淀积黏土,大量的针状方解石微晶分布在孔隙边缘,孔隙度较高,主要是以圆形孔洞、囊孔占优势,孔隙壁光滑。辛店文化时期古耕作土壤层(Ah₁/Ap₃)与 Ah₂/Ap₄ 层的主要微形态特征相似,只是 C/F_{15μm} 值呈现相对高值,亚胶膜状和团聚状淀积黏土比例减少。相比于古耕作土壤层(Ah₁/Ap₃, Ah₂/Ap₄),现代耕作土壤层(Ap₁)主要表现为粗颗粒呈现次棱角状-次圆状,含有大量浓聚物状残积黏土和极少量亚胶膜状淀积黏土,含有大量的针状方解石微晶,孔隙度较低,且 C/F_{15μm} 值趋于升高。古耕作土壤层 Ah₂/Ap₄ 和 Ah₁/Ap₃ 皆为黑垆土,它们分别是在全新世中期大暖期的环境背景之下,齐家文化时期和辛店文化时期人类简单耕作和古生物气候条件下的产物。Ap₁ 层为淡灰钙土,它是距今约 1 500 年以来人类施加土粪、农业耕作和沙尘堆积的综合产物,其特征主要受到人类活动强度和方式的控制。

关键词 微形态; 古耕作土壤层; 现代耕作土壤层; 喇家遗址; 官亭盆地

中图分类号 S159.2 **文献标识码** A

土壤微形态是风化成壤过程的表现,其特征和变化不仅可以揭示土壤形成和发育的演变规律,也有助于揭示一般自然因素或人为因素对土壤形成过程的影响^[1]。自 20 世纪 30 年代显微镜技术引入土壤微形态研究至今,其研究内容从早期的纯土壤学已扩展至土地评估、土壤生态、环境演变等领域。郑毅等^[2]探讨了自然和农业环境土壤微形态形成过程和生态功能。庞奖励等^[3-4]比较了关中地区古耕作土壤和现代耕作土壤的土壤微形态特征。Davidson 等^[5-6]研究了古耕作土壤的微形态标志。Scarciglia 等^[7]从土壤微形态中提取了环境演变和土壤侵蚀的有关信息。官亭盆地是青海省海拔最低的地方,这里气候温和,自然条件优越,适宜于农业生产。在该盆地约 53 km² 的范围内,有 50 多处从新石器时代至青铜器时代的考古遗址^[9]。其中,位于青海省民和县官亭镇下喇家村黄河北岸二级阶地上的喇家遗址是一处大型的齐家文化聚落遗址(4 200~3 950 a BP),因其中含有史前灾难遗迹,故被称为“东方庞贝”^[9-10]。

*国家自然科学基金项目(41471071)和陕西师范大学优博资助项目(X2012YB04)资助

[†] 通讯作者, E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

作者简介: 张玉柱(1987-),男,博士研究生,主要从事土地资源管理与环境变迁方面研究。E-mail:ssdzyz@126.com

收稿日期: 2014-09-11; 收到修改稿日期: 2014-11-25

近十年来,喇家遗址灾难遗迹和废弃的原因一直是学者们研究和争论的焦点^[11-17],有关对喇家遗址齐家文化时期的古耕作土壤层特别是土壤微形态特征的系统研究鲜见报道。本文旨在通过对喇家遗址齐家文化时期的古耕作土壤层和现代耕作土壤层微形态特征的研究,准确揭示喇家遗址古耕作土壤层和现代耕作土壤层的发育过程及其反映的环境变化信息。

1 材料与方方法

1.1 研究区概况

官亭盆地地处青海省民和县南侧,是黄河上游的一个山间盆地,也是青藏高原东北缘与黄土高原南缘的一个临界地带。盆地面积约 53 km²,形态上近似为三角形。官亭盆地年平均气温 8~9℃,降水量 250~300 mm,蒸发量 2 000~2 100 mm,气候温和,宜于农业种植,属于旱作农业区,一年一熟或两年三熟,主要种植小麦、玉米等粮食作物。

官亭盆地内黄河发育了至少三级阶地,这些阶地海拔介于 1 760~1 860 m 之间。其中,黄河第二级阶地分布在盆地中部,黄河北岸宽度一般在 2 000~3 000 m,南岸宽度一般在 1 000 m,现代村落多坐落在此。在黄河第二级阶地前部全新世地层中曾经发现的最古老文化遗存是马家窑文化马家窑类型(5 300~4 800 a BP)^[9],其后最主要的是齐家文化(4 200~3 600 a BP)和后来的卡约文化(3 600~2 600 a BP)与辛店文化(3 400~2 700 a BP)^[9],表明人类大约从距今 5 000 年左右就开始在第二级阶地上居住生活,并从事旱作农业生产。

1.2 供试土壤

2013—2014 年,笔者所在团队对黄河上游官亭盆地黄河第二级阶地前沿喇家遗址区域海拔 1 780~1 800 m 的区间范围进行了广泛细致的野外考察。在喇家遗址区域范围内,发现了多个典型的全新世黄土土壤剖面。如图 1 所示,在野外对喇家遗址剖面(35° 51' 46" N, 102° 48' 30" E,海拔 1780 m)的宏观特征进行观察分析的基础上,对该剖面从上往下进行了划分。地表 0~20 cm 是现代表土层(MS),为淡灰钙土(钙积正常干旱土),属于现代耕作土壤层(Ap₁); 20~60 cm 是近代黄土层(L₀),属于母质层(C/Ap₂); 60~100 cm 是全新世中期古土壤层(S₀₁),为发育很好的黑垆土,属于辛店文化时期古耕作土壤层(Ah₁/Ap₃); 100~120 cm 是红色黏土层(RC),为覆盖喇家遗址齐家文化古地面(聚落和古耕作土壤层)和人类遗骸之上的泥流沉积物,其物质来源于遗址北侧大红山沟头地区的第三纪红色黏土地层风化物^[16-17]; 120~200 cm 是全新世中期古土壤层(S₀₂),为发育很好的黑垆土,其上部属于齐家文化时期古耕作土壤层(Ah₂/Ap₄); 200~280 cm 是全新世早期过渡性黄土层(L₁),黄土性质,属于钙积层(C_k); 280~900 cm 是晚更新世晚期马兰黄土层(L₁),为母质层(2C)。

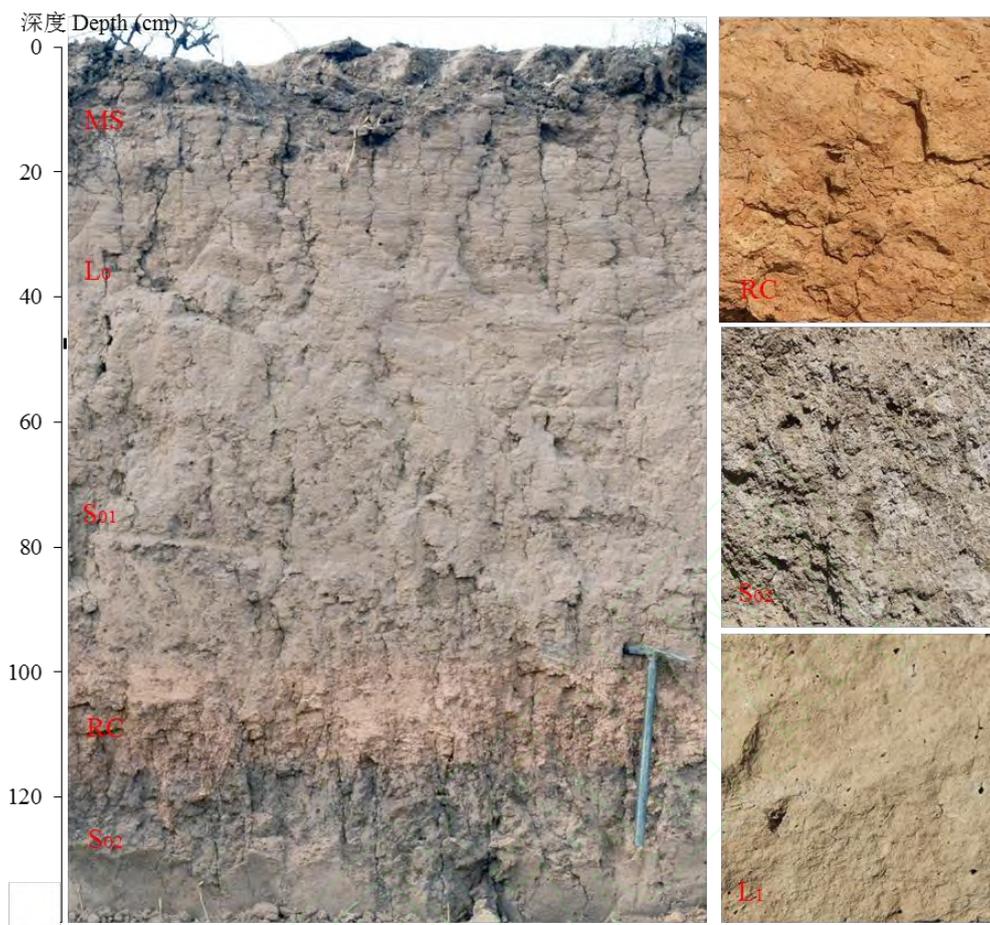


图 1 青海民和官亭盆地喇家遗址土壤剖面

Fig.1 Soil profile in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

1.3 样品采集与分析

样品采样时间为土壤环境比较干燥的春季。分别采集了青海民和官亭盆地喇家遗址全新世黄土土壤剖面中现代代表土层 (MS)、近代黄土层 (L₀)、全新世中期古土壤层 (S₀₁)、红色黏土层 (RC)、全新世中期古土壤层 (S₀₂)、全新世早期过渡性黄土层 (L₁) 和晚更新世晚期马兰黄土层 (L₁) 的全岩样品 (用于理化性质分析) 和块状样品 (用于微形态特征分析)。用于微形态特征分析的块状样品的采集方法参照文献[1]。

样品在室内自然风干。颜色描述采用门塞尔标准比色卡。大于 0.1 mm 粗颗粒用筛分法分离。CaCO₃ 含量用荷兰 Eijkelpamp 公司生产的 Calcimeter 测量。粒度分析采用英国 Backman Coulter 公司生产的 LS 系列激光粒度仪测量, 测量精度为 1%。样品固化参照曹升庚方法^[18]。土壤薄片 (32 mm×24 mm) 在 Leica-DMRX 偏光显微镜下观察。微形态特征参数的定量测量采用 Leica-Qwin V3 软件完成。文中对薄片的描述和术语参照文献[19]。

2 结果

2.1 样品结构及物理性质

青海民和官亭盆地喇家遗址剖面中,不同土壤发生层在颜色、质地和构造等方面差异明显。在剖面不同层位可见到不同文化时期的陶片,这为初步断代提供了证据(表1)。

表1 青海民和官亭盆地喇家遗址土壤剖面描述

Table 1 Pedological description of the soil profile in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

地层 Stratigraphy	发生层 Horizon	颜色、结构和构造 Colour, texture and structure	CaCO ₃ (%)	粗颗粒 Coarse grain	粒度 Grain-size (μm, %)			年代 Age (a BP)
					2 000~50	50~2	<2	
现代表土层 (MS)	Ap ₁	厚度在 10~30 cm 之间,淡灰钙土,橙色, 7.5YR6/6 (干), 粉黏土。粒状构造, 疏松, 大量孔隙, 中等数量碳酸钙的粉末和假菌丝体, 大量的植物根系和蚯蚓粪团, 常见侵入物, 厚度在 30~50 cm 之间。	14.35	石英和长石晶屑为主, 少量岩屑和砖瓦屑	20.60 ¹⁾	73.10 ¹⁾	6.34 ¹⁾	1 500~0
					17.15 ²⁾	45.76 ²⁾	37.09 ²⁾	
近代黄土层 (L ₀)	C/Ap ₂	厚度在 30~50 cm 之间, 浊橙色, 7.5YR7/4 (干), 黏壤。团块-块状构造, 疏松, 中等数量孔隙, 中等数量碳酸钙粉末和假菌丝体, 少量的植物根系和蚯蚓粪团, 有侵入物。	14.68	石英和长石晶屑为主, 少量岩屑	34.58 ¹⁾	54.85 ¹⁾	10.57 ¹⁾	3 100~1 500
					25.51 ²⁾	37.51 ²⁾	36.98 ²⁾	
全新世中期古土壤层 (S ₀₁)	Ah ₁ /Ap ₃	厚度在 30~80 cm 之间, 黑垆土, 浊红棕色, 5YR5/3 (干), 粉黏土。团块状构造, 较紧实, 中等数量孔隙, 大量碳酸钙粉末和假菌丝体, 多蚯蚓孔和粪团, 常见侵入物。	13.08	石英和长石晶屑为主, 见大量的辛店文化时期的陶片、烧土块和木炭屑	23.40 ¹⁾	63.40 ¹⁾	13.10 ¹⁾	3 950~3 100
					18.82 ²⁾	41.37 ²⁾	39.81 ²⁾	
红色黏土层 (RC)		厚度变化在 20~300 cm 之间, 亮红棕色, 2.5YR5/8 (干), 粉黏土, 团块状构造, 显示出粘稠状态流动的内部结构, 判定为泥流沉积物, 泥流层波状起伏。	15.49	石英和长石晶屑为主, 见大量齐家文化时期的陶片、烧土块和木炭屑	0.14 ¹⁾	71.40 ¹⁾	28.46 ¹⁾	3 950
					4.91 ²⁾	44.99 ²⁾	50.10 ²⁾	
全新世中期古土壤层 (S ₀₂)	Ah ₂ /Ap ₄	厚度在 70~90 cm 之间, 黑垆土, 浊红棕色, 5YR5/3 (干), 粉黏土。团块状构造, 较紧实, 中等数量孔隙, 大量碳酸钙粉末和假菌丝体, 多蚯蚓孔和粪团, 常见侵入物。	15.05	石英和长石晶屑为主, 其上部见大量的齐家文化时期的陶片、烧土块和木炭屑	15.80 ¹⁾	72.40 ¹⁾	11.90 ¹⁾	8 500~3 950
					14.28 ²⁾	45.44 ²⁾	40.28 ²⁾	
全新世早期过渡性黄土层 (L ₁)	C _k	厚度在 80~100 cm 之间, 浊黄橙色, 7.5YR7/3 (干), 黏壤。块状构造, 疏松多孔, 少量的蚯蚓孔和粪团, 富含碳酸钙结核 (直径在 0.5~1.0 cm 之间)。	19.79	石英和长石晶屑为主	27.38 ¹⁾	63.67 ¹⁾	8.95 ¹⁾	11 500~8 500
					21.20 ²⁾	41.49 ²⁾	37.31 ²⁾	
晚更新世晚期马兰黄土层 (L ₁)	2C	厚度在 600~1 000 cm 之间, 黄橙色, 10YR7/4 (干), 黏壤。块状构造, 疏松多细小孔隙, 富含碳酸盐。	19.84	石英和长石晶屑为主	29.27 ¹⁾	63.10 ¹⁾	7.63 ¹⁾	35 000~11 500
					22.33 ²⁾	41.23 ²⁾	36.44 ²⁾	

1) 利用激光粒度仪测定的粒级数据 Grain-size distribution was analyzed using a Backman Coulter-LS laser analyzer; 2) 经过公式换算的粒级数据^[20-21] Grain-size distribution was converted using an empirical formula^[20-21]

2.2 粗颗粒特征

显微镜下观察到不同土壤发生层矿物组合均是以石英和长石为主。但 C/F_{15μm} 值和粗颗粒形状等却有明显差异(表2)。Ap₁ 层粗颗粒呈现次棱角状-次圆状(图2a), C/F_{15μm} 值呈现低值, 为 0.91, 可见>1 mm 的晶屑、岩屑及砖瓦屑等(表1)。C/Ap₂ 层粗颗粒呈现棱角状

-次棱角状 (图 2b), $C/F_{15\mu m}$ 值呈现高值, 为 0.94。Ah₁/Ap₃ 和 Ah₂/Ap₄ 层粗颗粒呈现圆状-次圆状 (图 2c、图 2e), $C/F_{15\mu m}$ 值呈现更低值, 分别为 0.89 和 0.79, 排列显示弱定向, 可见 >1 mm 的晶屑和岩屑等。C_k 和 2C 层粗颗粒呈现棱角状-次棱角状 (图 2f), $C/F_{15\mu m}$ 值呈现更高值, 分别为 1.12 和 1.26。但是, 红色黏土层 (RC) 粗颗粒呈现圆状-次圆状 (图 2d), $C/F_{15\mu m}$ 值呈现最低值, 为 0.79, 排列定向性更差, 其显著区别于喇家遗址剖面各土壤发生层的粗颗粒特征。

表 2 青海民和官亭盆地喇家遗址土壤剖面粗颗粒特征

Table 2 Features of coarse grains in the soil profile in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

地层 Stratigraphy	发生层 Horizon	$C/F_{15\mu m}^{1)}$	长/宽 Length/Width	等圆直径 ²⁾ EqDiameter (μm)	周长 Perimeter (μm)	磨圆度 ³⁾ Roundness	定向性 ⁴⁾ Orientation (%)	粒径 ⁵⁾ Grain-size (μm)	
								范围 Range	平均值 Mean
现代表土层 (MS)	Ap ₁	0.91	1.86	15.60	72.40	1.80	19.12	15~495	22.24
近代黄土层 (L ₀)	C/Ap ₂	0.94	1.81	17.97	102.5	1.82	21.62	15~465	26.34
全新世中期 古土壤层 (S ₀₁)	Ah ₁ /Ap ₃	0.89	1.86	15.76	67.45	1.88	17.60	15~422	20.79
红色黏土层 (RC)		0.47	1.23	14.79	56.34	1.92	14.53	15~337	18.73
全新世中期 古土壤层 (S ₀₂)	Ah ₂ /Ap ₄	0.79	1.89	15.76	74.50	1.88	19.27	15~420	22.73
全新世早期 过渡性黄土 层 (L ₄)	C _k	1.12	1.83	17.38	111.5	2.49	24.27	15~235	28.56
晚更新世晚 期马兰黄土 层 (L ₁)	2C	1.26	1.84	18.75	127.6	2.53	25.37	15~243	29.73

1) $C/F_{15\mu m}$ =大于 15 μm 颗粒量/小于 15 μm 颗粒量 $C/F_{15\mu m}$ =The content of grain-size (>15 μm)/the content of grain-size (<15 μm); 2) 等圆直径=与颗粒面积相等的圆直径 EqDiameter=The diameter of the circle whose area is equal to the surface area of a grain; 3) 磨圆度=(周长 \times 周长)/(4 $\times\pi$ \times 面积 \times 1.064) Roundness=(perimeter \times perimeter)/(4 \times area \times 1.064); 4) 定向性=指颗粒最长轴与水平轴的夹角, 表中数据是夹角为 0° 颗粒的含量 Orientation=The angle between the longest axis and the horizontal axis, and the data in Table 2 are contents of grains whose angle is zero; 5) 粒径=颗粒最大粒径 Grain-size=Maximum diameter of coarse grain

2.3 土壤形成物

土壤形成物主要是指黏粒矿物 (多被无定形 Fe-Mn 质混染而呈棕黄色-黄棕色), 其次是方解石和无定形铁锰质。黏粒可分为残积黏粒和淀积黏粒^[22]。其中, 残积黏粒常呈现浓聚物状, 其形态和大小变化很大, 轮廓较模糊。淀积黏粒主要呈现亚胶膜状和少量不规则团块状, 与周围物质界线清楚。Ap₁ 层常见大量浓聚物状残积黏粒和极少量淀积黏粒 (图 2a)。C/Ap₂ 层黏土含量少, 浓聚物状残积黏土占绝对优势 (图 2b)。Ah₁/Ap₃ 层黏土含量高, 残积黏粒和淀积黏粒并存, 其中淀积黏粒以亚胶膜和团聚体两种形式存在 (图 3a)。Ah₂/Ap₄ 层黏粒分布与 Ah₁/Ap₃ 层相似, 但是亚胶膜状黏粒所占比例增加 (图

3b)。C_k层和2C层黏粒含量也很少，浓聚物状残积黏粒占绝对优势。但是，红色黏土层（RC）出现了大量亚胶膜状和浓聚物状淀积黏粒（图2d），其显著区别于喇家遗址剖面各土壤发生层的黏粒分布特征。

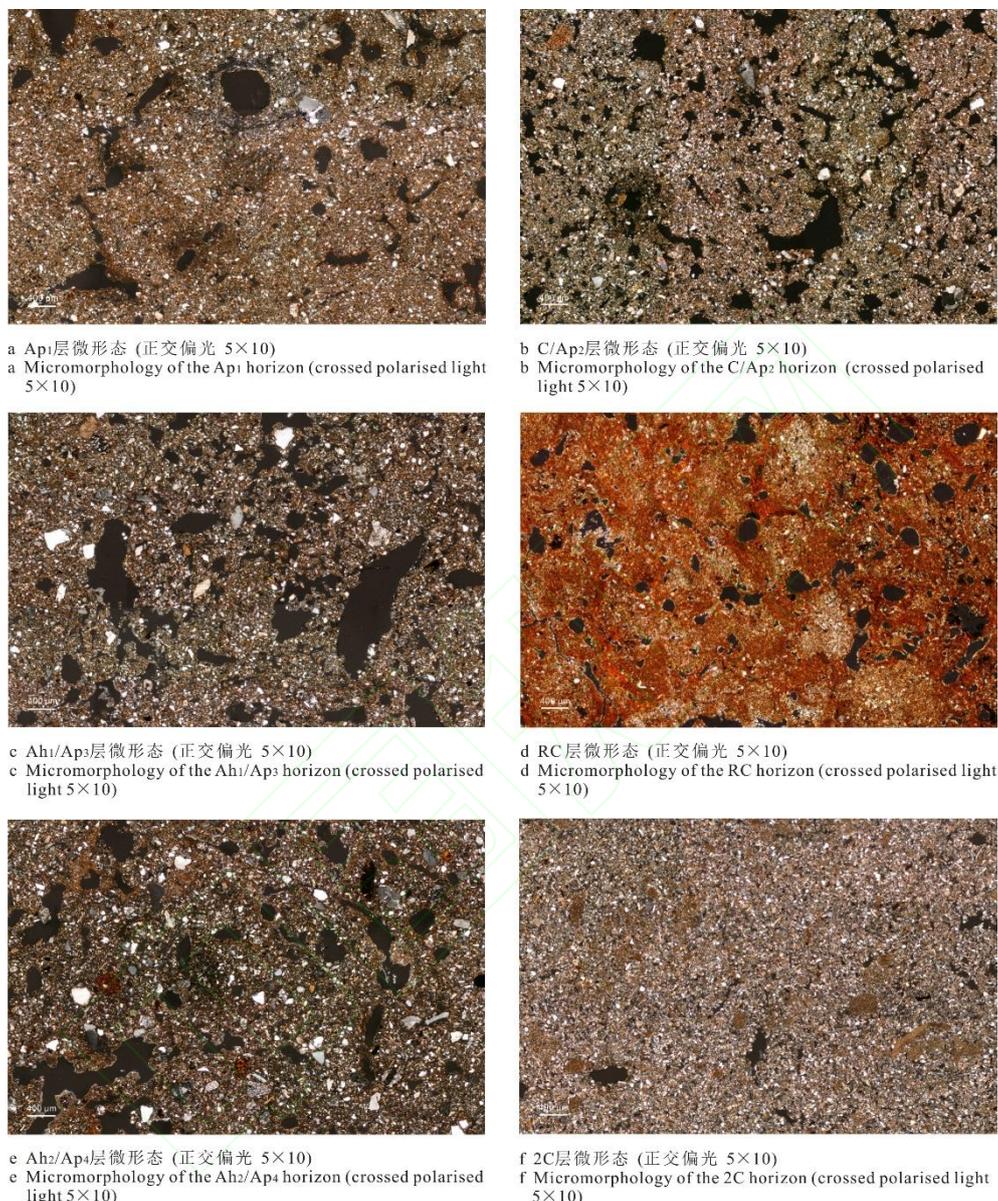


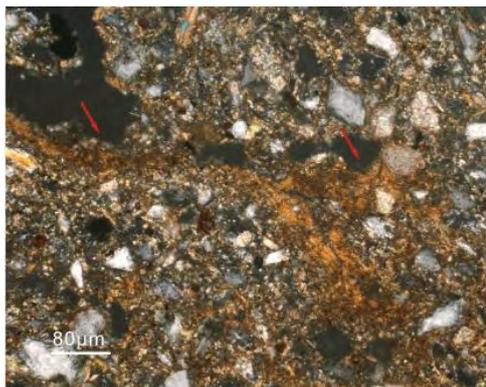
图2 青海民和官亭盆地喇家遗址土壤剖面微形态

Fig.2 Micromorphology of the soil profile in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

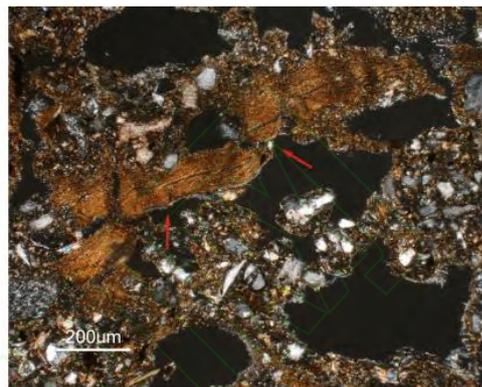
土壤中次生方解石的形成经历了原生方解石→溶解→（移动）→再沉淀的过程^[22]。在再沉淀过程中，环境的差异会形成不同结晶程度和形态的方解石。次生方解石形态多种多样，根据结晶程度可分为隐晶、微晶、细晶，根据形态可分为亚胶膜、浓聚物、结核、针状、星散状。Ap₁层常见隐晶方解石和微晶方解石，以针状为主、少量浓聚物状。C/Ap₂层常见细晶组成的方解石脉和微晶组成的结核、浓聚体等。Ah₁/Ap₃和 Ah₂/Ap₄层方解石数量较少，

主要是以针状微晶方解石为主分布在孔隙边缘(图 3c、图 3d)。C_k 和 2C 层常见大量的结核状、脉状、浓聚物状次生方解石。但是,红色黏土层(RC)中的方解石因与黏粒混在一起,而很难分清楚。

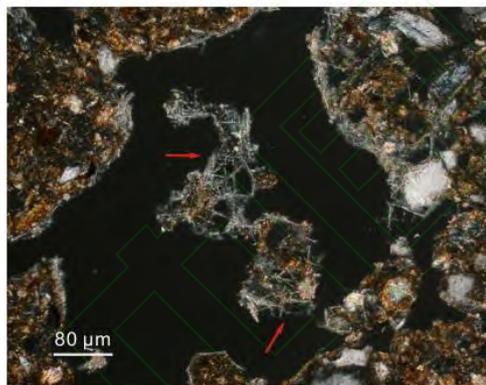
本次识别出的生物遗迹主要是蚯蚓粪粒。Ap₁ 层可见大量形态规则的球形或椭圆形蚯蚓粪粒。C/Ap₂ 层蚯蚓粪粒形态与 Ap₁ 相似,但数量明显减少。Ah₁/Ap₃ 和 Ah₂/Ap₄ 层可见大量蚯蚓粪粒,形态不规则,主要呈长条形附着于孔隙壁(图 3e、图 3f)。C_k、2C 层和红色黏土层(RC)未见蚯蚓粪粒。



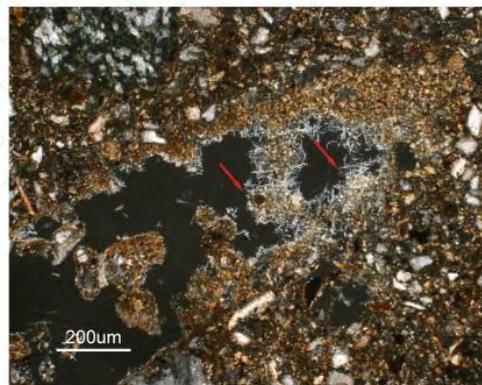
a Ah₁/Ap₃层中淀积黏粒(正交偏光 20×10)
a Illuvial clay in Ah₁/Ap₃ horizon (crossed polarised light 20×10)



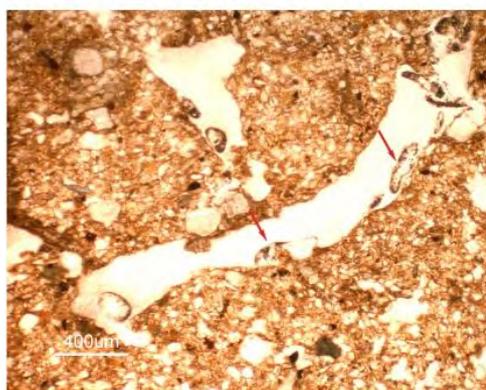
b Ah₂/Ap₄层中淀积黏粒(正交偏光 10×10)
b Illuvial clay in Ah₂/Ap₄ horizon (crossed polarised light 10×10)



c Ah₁/Ap₃层中针状方解石(正交偏光 20×10)
c Needle-shaped secondary-calcite in Ah₁/Ap₃ horizon (crossed polarised light 20×10)



d Ah₂/Ap₄层中针状方解石(正交偏光 10×10)
d Needle-shaped secondary-calcite in Ah₂/Ap₄ horizon (crossed polarised light 10×10)



e Ah₁/Ap₃层中蚯蚓粪粒(单偏光 5×10)
e Earthworm excrement in Ah₁/Ap₃ horizon (plane polarised light 5×10)



f Ah₂/Ap₄层中蚯蚓粪粒(单偏光 5×10)
f Earthworm excrement in Ah₂/Ap₄ horizon (plane polarised light 5×10)

图 3 青海民和官亭盆地喇家遗址土壤剖面古耕作土壤层土壤形成物

Fig.3 Pedological features of the ancient plow layer of the paleosol of the soil profile in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

2.4 孔隙和微垒结特征

显微镜下观察到的孔隙类型有：填充孔隙、气泡状孔隙、囊状孔隙和孔道，其中常见的为填充孔隙和孔道。Ap₁层的孔隙度呈现高值，孔隙形状复杂，粗大的较规则孔隙和细小的不规则孔隙并存（图 2a、表 3）。C/Ap₂层孔隙度呈现低值，孔隙形状复杂、粗大和细小的不规则孔隙并存，孔壁边沿形状粗糙（图 2b、表 3）。Ah₁/Ap₃ 和 Ah₂/Ap₄层孔隙度呈现更高值，以圆形孔洞、囊孔占优势，孔隙壁光滑（图 2c、图 2e、表 3）。C_k和 2C 层孔隙度呈现最低值，孔隙以不规则状、孔隙小和数量多为特征，孔壁边沿形状粗糙（图 2f、表 3），显示出沙尘暴堆积物自然堆积所成孔隙的特征。但是，红色黏土层（RC）孔隙度呈现最高值，其内部孔隙或者气泡很多，形态多为近圆形、椭圆形、云朵形、不规则形，分布零乱，无规律，其显著区别于喇家遗址剖面各土壤发生层的孔隙特征（图 2d）。

表 3 青海民和官亭盆地喇家遗址土壤剖面微形态特征

Table 3 Micromorphological features of the soil profile in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

地层 Stratigraphy	发生层 Horizon	c/f 相对分布式 ¹⁾ c/f-related distribution	基本垒结及孔隙分布 Elementary fabric and void	土壤形成物 Pedofeatures
现代表土层 (MS)	Ap ₁	双空间孔隙型	中等分离的团块状微结构。简单填充孔隙和孔道，孔壁较光滑，孔隙度 14%~16%	大量浓聚物状残积黏粒。极少量淀积黏粒 (<5%)。常见椭圆形蚯蚓粪粒，大量的针状次生方解石
近代黄土层 (L ₀)	C/Ap ₂	单空间孔隙型	中等分离的团粒状微结构。简单填充孔隙，孔隙边沿锯齿状，孔隙度 10%~12%	少量浓聚物残积黏粒，缺少淀积黏粒。大量结核状、浓聚物状次生方解石，少量椭圆形蚯蚓粪粒
全新世中期古土壤层 (S ₀₁)	Ah ₁ /Ap ₃	双空间孔隙型	中等分离的团块状微结构。主要是孔道孔隙，其中以圆状孔隙（根孔）占优势，孔隙壁平滑，孔隙度 16%~18%	大量浓聚物状残积黏粒。淀积黏粒（以亚胶膜和团聚体两种形式存在）比例增加 (<5%)，亚胶膜厚 10~50 μm。大量蚯蚓粪粒，大量针状次生方解石分布在孔隙边缘
红色黏土层 (RC)		单空间孔隙型	中等分离的团块状微结构。简单填充孔隙，近圆状、椭圆状、云朵状，不规则状孔隙或气泡，分布零乱，孔隙度 18%~20%	大量亚胶膜状和团聚体状淀积黏粒（70%），亚胶膜厚度 200~1000 μm
全新世中期古土壤层 (S ₀₂)	Ah ₂ /Ap ₄	双空间孔隙型	中等分离的团块状微结构。孔道孔隙，其中以圆状孔隙（根孔）占优势，孔隙壁平滑，孔隙度 17%~19%	大量浓聚物状残积黏粒。淀积黏粒（以亚胶膜和团聚体两种形式存在）比例增加（5%），亚胶膜厚 50~200 μm。大量蚯蚓粪粒，大量针状次生方解石分布在孔隙边缘
全新世早期过渡性黄土层 (L ₁)	C _k	单空间孔隙型	中等分离的团粒状微结构。简单填充孔隙，孔隙边沿锯齿状，孔隙度 8%~10%	少量浓聚物状残积黏粒。大量结核状、脉状、浓聚物状次生方解石
晚更新世晚期马兰黄土层 (L ₁)	2C	单空间孔隙型	中等分离的团粒状微结构。简单填充孔隙，孔隙形状极不规则，孔壁较粗糙，缺少大孔隙，孔隙度 6%~8%	少量浓聚物状残积黏粒。大量结核状、脉状、浓聚物状次生方解石

1) c/f 相对分布式=某直径为界的粗细颗粒之间在空间的相对排列形式 c/f-related distribution= relative spatial permutation of coarse and fine particles defined by a certain diameter

3 讨论

黄土高原在特殊的自然地理环境下, 风化成土过程具有其特殊性, 主要表现为: (1) 在风化成土过程中, 沙尘暴堆积作用持续发生, 仅是堆积的速率较低^[23-27], 即在成土过程中自始至终伴有新的沙尘暴堆积物质的加入。(2) 在成土过程中, 一方面对已沉积的沙尘暴堆积物进行风化成壤改造, 与此同时, 新的沙尘暴堆积物不断堆积并加入到土体, 使得土壤剖面向上发育, 结果表现为土壤剖面向上、下两个方向同步发展^[28]。

结合前期的研究成果, 确定了青海民和官亭盆地喇家遗址沉积地层的年代框架^[16]。在喇家遗址剖面中, 晚更新世晚期马兰黄土层(L_1)形成于 35 000~11 500 a BP, 为母质层(2C)。该土壤发生层中, 粗颗粒呈现棱角状-次棱角状, $C/F_{15\mu m}$ 值呈现最高值, 次生黏粒数量少, 大量的次生方解石, 这说明它形成于寒冷干旱的环境, 沙尘暴堆积作用旺盛, 风化成土作用极其微弱。而且该土壤发生层中, 孔隙度最低, 孔隙以不规则状、孔隙小和数量多为特征, 孔壁边沿形状粗糙, 这显示了沙尘暴堆积物自然堆积所成孔隙的特征。

全新世早期过渡性黄土层 (L_2) 形成于 11 500~8 500 a BP, 为钙积层 (C_k)。该土壤发生层中, 粗颗粒呈现棱角状-次棱角状, $C/F_{15\mu m}$ 值呈现较高值, 次生黏粒数量少, 大量的次生方解石, 这说明全球性末次冰期结束后, 区内的气候在此期间虽然也呈现开始向暖湿方向逐步转化的过渡特征, 而风化成土作用仍然极其微弱。而且, 在该土壤发生层中, 孔隙度低, 孔隙以不规则状、孔隙少和数量多为特征, 孔壁边沿形状粗糙, 这也显示了微弱的风化成土作用的特征。

全新世中期大暖期古土壤层 (S_{02}) 形成于 8 500~3 950 a BP, 为发育很好的黑垆土, 其上部属于齐家文化时期古耕作土壤层 (Ah_2/Ap_4)。该土壤发生层中, 粗颗粒呈现圆状-次圆状, $C/F_{15\mu m}$ 值呈现低值, 排列显示弱定向, 常见亚胶膜状和团聚状淀积黏粒, 大量的针状方解石微晶分布在孔隙边沿, 并且出现 >1 mm 细砾。这说明它形成于温暖湿润的环境, 加之受到喇家遗址齐家文化时期人类简单耕作活动的影响, 风化成壤作用强烈。而且, 在该土壤发生层中, 孔隙度较高, 主要是以圆形孔洞、囊孔占优势, 孔隙壁光滑。这也说明在温暖湿润的环境下, 利于生物的大量活动, 并且由于易溶碳酸盐类的淋溶还会导致土壤中孔隙长期处于水分连通状态, 以致孔隙壁光滑。全新世中期大暖期古土壤层 (S_{01}) 形成于 3 950~3 100 a BP, 为发育很好的黑垆土, 属于辛店文化时期古耕作土壤层 (Ah_1/Ap_3)。其与 Ah_2/Ap_4 层主要微形态特征相似, 只是 $C/F_{15\mu m}$ 值呈现相对高值, 亚胶膜状和团聚状淀积黏粒比例相对减少。这是由于该土壤发生层形成于全新世中期大暖期后期, 气温和降水均有所降低, 虽然当时辛店文化时期人类简单的耕作扰动能够改变土壤环境, 但是风化成壤作用相对减弱, 次生黏粒数量减少。

穿插于全新世中期大暖期古土壤层之间, 并且覆盖了喇家遗址文化层古地面的红色黏土层 (RC), 形成于 3 950 a BP。其粗颗粒呈现圆状-次圆状, $C/F_{15\mu m}$ 值呈现最低值, 常见极

其丰富的亚胶膜状和团聚状淀积黏粒，显著区别于齐家文化时期古耕作土壤层（ Ah_2/Ap_4 ）和辛店文化时期古耕作土壤层（ Ah_1/Ap_3 ）的微结构特征。这是由于覆盖了喇家遗址文化层古地面的红色黏土层，其物质来源于遗址北侧大红山沟头地区的第三纪红色黏土地层风化物，而第三纪红色黏土层是形成于非常温暖湿润的环境之下，风化成土作用非常强烈，形成了大量的次生黏粒矿物。而且，红色黏土层内部孔隙或者气泡很多，形态多为近圆形、椭圆形、云朵形，不规则形，分布零乱，无规律。这是由于坡面松散沉积物转变为泥流时本身就含有空气，且泥流运动过程中其龙头强烈扰动、翻卷、腾越卷入了大量空气。空气进入泥流体内后，泥浆体的粘滞效应使其成为一个个封闭的气孔。这些气孔再经过泥流运动、停积、干燥固结等力学体系的作用，在泥浆内部变形和重新分配，具有典型泥流沉积物的微结构特征^[29-30]。

全新世晚期 3 100 a BP 以来，官亭盆地地区自然环境转向相对干旱并持续至今天，形成了近代黄土层（ L_0 ，属于母质层 C/Ap_2 ）和现代表土层（ MS ，属于现代耕作土壤层 Ap_1 ）。在 C/Ap_2 层形成时期（3 100~1 500 a BP），一方面气候相对干旱，不利于矿物风化分解，另一方面，农业生产水平仍较低下，简单的耕作活动对土壤发育的影响有限，地面的风积物进行的风化成土作用也很弱，因此 C/Ap_2 层显示风积物的主要微结构特征，即粗颗粒呈现棱角状-次棱角状， $C/F_{15\mu m}$ 值呈现高值，次生黏粒数量少，大量的次生方解石。并且孔隙度呈现低值，孔隙形状复杂、粗大和细小的不规则孔隙并存，孔壁边沿形状粗糙。现代表土层（ MS ）形成于 1 500~0 a BP，为淡灰钙土，属于现代耕作土壤层（ Ap_1 ）。该土壤发生层中，粗颗粒呈现次棱角状-次圆状，孔隙度较低，指示了全新世晚期相对寒冷干旱的环境。但 Ap_1 层却有大量浓聚物状残积黏粒和极少量的淀积黏粒，说明矿物遭到较强风化，其原因只能是人类耕作活动所致。大约 1 500 a BP 开始，随着生产技术和生产方式的改进，人类在农业生产过程中开始且有大量施加黄土性质的土粪。与自然作用相比较，人类的农业耕作活动（包括翻耕、灌溉等）非常有利于矿物的风化分解，显著加快土壤的风化成土改造过程，另一方面，频繁的施加土粪加速了土壤剖面向上发展的速度，改变了土壤发育的方向，形成典型的受人为影响的现代耕作土壤层。

4 结论

结合沉积物宏观特征、 $CaCO_3$ 含量、粒度成分和微形态特征的分析，对喇家遗址古耕作土壤层和现代耕作土壤层的发育过程及其反映的环境变化信息获得了明确的认识。青海民和官亭盆地内黄河上游二级阶地为晚更新世晚期马兰黄土层和全新世风成黄土土壤所覆盖。晚更新世晚期（距今 35 000~11 500 年前），气候寒冷干旱、沙尘暴堆积旺盛，形成了马兰黄土层（ L_1 ），为母质层（ $2C$ ）。全新世早期（距今 11 500~8 500 年前），在此期间气候呈现开始向暖湿方向逐步转化的过渡特征，形成了过渡性黄土层（ L_4 ），属于钙积层（ C_k ）。全新世中期大暖期（距今 8 500~3 950 年前），气候温暖湿润，风成沉积物受到强烈的风化成土改造，

阶地面上形成了发育很好的黑垆土类古土壤 (S_{02}), 其上部因受到喇家遗址齐家文化时期人类农业开发利用, 即属于齐家文化时期古耕作土壤层 (Ah_2/Ap_4)。距今 3 950 年前, 暴雨泥流沉积物堆积并覆盖了喇家遗址齐家文化古地面 (聚落和古耕作土壤层), 形成了红色黏土层 (RC)。全新世中期大暖期后期 (距今 3 950~3 100 年前), 风成沉积物的风化成土改造过程得到恢复, 又形成了发育很好的黑垆土类古土壤 (S_{01}), 其上部因受到喇家遗址辛店文化时期人类农业开发利用, 即属于辛店文化时期古耕作土壤层 (Ah_1/Ap_3)。全新世晚期 (距今 3 100~1 500 年前), 气候向相对干冷化发展, 沙尘暴盛行, 形成了近代黄土层 (L_0), 属于母质层 (C/Ap_2)。全新世晚期 (1 500 年前至今), 形成了现代表土层 (MS), 为淡灰钙土, 其因受到人类强烈的农业耕作活动的影响, 加强了风成沉积物的风化成土过程, 属于现代耕作土壤层 (Ap_1)。

参考文献

- [1] 靳桂云. 土壤微形态分析及其在考古学中的应用. 地球科学进展, 1999, 14(2): 197-200. Jin G Y. Soil micromorphology in Archaeology (In Chinese). Advance in Earth Sciences, 1999, 14(2): 197-200
- [2] 郑毅, 张福锁. 土壤结构和耕作对根际微生态系统的影响. 云南农业大学学报, 2003, 18: 193-197. Zheng Y, Zhang F S. Effects of soil structure and tillage on the rhizosphere micro-ecosystem (In Chinese). Journal of Yunnan Agricultural University, 2003, 18: 193-197
- [3] 庞奖励, 黄春长, 张旭. 关中地区古耕作土壤和现代耕作土壤微形态特征及意义. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1395-1402. Pang J L, Huang C C, Zhang X. Micromorphological features of old cultivated and modern soil in Guanzhong Areas of Shaanxi Province, North China (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1395-1402
- [4] 庞奖励, 黄春长, 查小春, 等. 关中地区两种不同农业管理方式下土壤微形态特征. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2518-2526. Pang J L, Huang C C, Zha X C, et al. Comparison of micromorphological features of two agricultural cultivated soils in Guanzhong Areas of Shaanxi Province (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2518-2526
- [5] Davidson D A. Bioturbation in old arable soils: Quantitative evidence from soil micromorphology. Journal of Archaeological Science, 2002, 29: 1247-1253
- [6] Davidson D A, Carter S P. Micromorphological evidence of past agricultural practices in cultivated soils: The impact of a traditional agricultural system on soils in Papa Stour, Shetland. Journal of Archaeological Science, 1998, 25: 827-838
- [7] Scarciglia F, Terribile F, Colombo C. Micromorphological evidence of paleoenvironmental changes in Northern Cilento (South Italy) during the Late Quaternary. Catena, 2003, 54: 515-536
- [8] 杨晓燕, 夏正楷, 崔之久, 等. 青海官亭盆地考古遗存堆积形态的环境背景. 地理学报, 2004, 59(3): 454-461. Yang X Y, Xia Z K, Cui Z J, et al. Environmental settings and depositional processes and distribution of the archeological sites in the Guanting Basin (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2004, 59(3): 454-461
- [9] 叶茂林. 青海民和喇家史前遗址的发掘. 考古, 2002, 7: 3-6. Ye M L. The excavation of the prehistorical Lajia Ruins in Minhe County, Qinghai Province (In Chinese). Archaeology, 2002, 7: 3-6
- [10] 叶茂林. 不可思议的考古发现. 成都文物, 2008, 1:1-10. Ye M L. Incredible archaeological discovery (In Chinese). Chengdu Cultural Relics, 2008, 1: 1-10
- [11] 夏正楷, 杨晓燕, 叶茂林. 青海喇家遗址史前灾难事件. 科学通报, 2003, 48(11): 1200-1204. Xia Z K, Yang X Y, Ye M L. Prehistoric disasters at Lajia Site, Qinghai Province, China (In Chinese). Chinese Science Bulletin, 2003, 48(11): 1200-1204
- [12] 杨晓燕, 夏正楷, 崔之久. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征. 第四纪研究, 2005, 25(1): 80-85. Yang X Y, Xia Z K, Cui Z J. Holocene extreme floods and its sedimentary characteristic in the upper reaches of the Yellow River (In Chinese). Quaternary Sciences, 2005, 25(1): 80-85
- [13] 吴庆龙, 张培震, 张会平, 等. 黄河上游积石峡古地震堰塞溃决事件与喇家遗址异常古洪水灾害. 中国科学:D辑, 2009, 39(8): 1148-1159. Wu Q L, Zhang P Z, Zhang H P, et al. A Palaeo-earthquake induced damming and bursting of the Yellow River and the abnormal flood that destroyed Lajia Relic (In Chinese). Science in China: Series D, 2009, 39(8): 1148-1159
- [14] 佟派, 王睦. 古代中国的环境研究——关于解释和年代对应方面的问题//山东大学东方考古研究中心. 东方考古:第 2 集, 北京: 科学出版社, 2005. Tarasov P, Wanger M. Environmental aspects of Chinese antiquity: Problems of interpretation and chronological correlation //Oriental archaeological research center in Shandong University. Studies of Oriental Archeology: The Second Collection (In Chinese). Beijing: Science Press, 2005
- [15] 殷志强, 秦小光, 赵无忌, 等. 黄河上游官亭盆地红粘土层成因机制再探讨. 第四纪研究, 2013, 33(5): 996-1004. Yin Z Q, Qin

- X G, Zhao W J, et al. Reexploration on the formation mechanism of the red clay layer in the Guanting Basin of the upper reaches of Yellow River (In Chinese). *Quaternary Sciences*, 2013, 33(5): 996-1004
- [16]张玉柱, 黄春长, 庞奖励, 等. 黄河上游官亭盆地喇家遗址地层光释光测年研究. *地理学报*, 2013, 68(5): 626-639. Zhang Y Z, Huang C C, Pang J L, et al. OSL dating of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the Guanting Basin in the upper Yellow River (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 626-639
- [17]Huang C C, Pang J L, Zhou Y L, et al. Palaeoenvironmental implications of the prehistorical catastrophes in relation to the Lajia Ruins within the Guanting Basin along the upper Yellow River, China. *The Holocene*, 2013, 23(11): 1584-1595
- [18]曹升庚. 土壤和非固结物质薄片的系统制备方法. *土壤专报*, 1989, 43: 42-45. Cao S G. Thin section preparation of soil and non-clotted material (In Chinese). *Monograph Pedologica Sinica*, 1989, 43: 42-45
- [19]Stoops G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America 2003
- [20]杨艳芳, 李德成, 杨金玲, 等. 激光衍射法和吸管法分析黏性富铁土颗粒粒径分布的比较. *土壤学报*, 2008, 45(3): 405-412. Yang Y F, Li D C, Yang J L, et al. Comparison between laser diffraction and pipette methods in analyses of PSD of clayey ferriols (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(3): 405-412
- [21]杨金玲, 李德成, 张甘霖, 等. 土壤颗粒粒径分布质量分形维数和体积分形维数的对比. *土壤学报*, 2008, 45(3): 413-419. Yang J L, Li D C, Zhang G L, et al. Comparison of mass and volume fractal dimensions of soil particle size distributions (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(3): 413-419
- [22]熊毅, 李庆远. 中国土壤. 第2版. 北京: 科学出版社, 1987. Hseung Y, Li Q K. *Soils of China* (In Chinese). 2nd ed. Beijing: Science Press, 1987
- [23]刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. Liu D S. *Loess and environment* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [24]孙建中. 黄土学. 香港: 香港考古学会, 2005. Sun J Z. *Loessology* (In Chinese). Hong Kong: Hong Kong Archaeological Society, 2005
- [25]唐克丽, 贺秀斌. 黄土高原全新世黄土-古土壤演替及气候演变的再研讨. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 129-140. Tang K L, He X B. Re-discussion on loess-paleosol evolution and climatic change on the loess plateau during the Holocene (In Chinese). *Quaternary Sciences*, 2004, 24(2): 129-140
- [26]Pang J L, Huang C C. Mid-Holocene soil formation and the impact of dust input in the middle reaches of the Yellow River, Northern China. *Soil Science*, 2006, 171(7): 552-563
- [27]Huang C C, Pang J L, Su H X, et al. The Ustic Isohumisol (Chernozem) distributed over the Chinese Loess Plateau: Modern soil or palaeosol? *Geoderma*, 2009, 150: 344-358
- [28]庞奖励, 黄春长, 查小春, 等. 关中地区壤土诊断层的形成过程及意义探讨. *中国农业科学*, 2008, 41(4): 1064-1072. Pang J L, Huang C C, Zha X C, et al. Forming process of diagnostic horizon of Loutu soil and its significance in Guanzhong Areas (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(4): 1064-1072
- [29]刘耕年, 崔之久, 王晓晖. 泥石流的宏观沉积构造与形成机理. *地质论评*, 1995, 41(2): 159-164. Liu G N, Cui Z J, Wang X H. Sedimentary macrostructures of debris flows and their formation mechanism (In Chinese). *Geological Review*, 1995, 41(2): 159-164
- [30]方小敏, 沈明智, 牟响智. 武都泥石流显微构造及其形成机制初探. *中国科学: B辑*, 1991, 2: 206-215. Fang X M, Shen M Z, Mou S Z. Micro-Features and formation studies on debris flow in Wudu County (In Chinese). *Science in China: Series B*, 1991, 2: 206-215

Micromorphology of Ancient Plow Layer of Paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province

Zhang Yuzhu Huang Chunchang[†] Pang Jiangli Zhou Yali Zhou Qiang Guo Yongqiang Shang Ruiqing

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

Abstract The Lajia Ruins is a large-scale settlement of the Qijia Culture (4 200~3 950 a BP). Archaeological excavations have exposed a shocking picture of prehistorical catastrophes in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province. The causes of the prehistorical catastrophes in the Lajia Ruins have become a hot topic in the field of environmental change. Unfortunately, so far little has been reported on development processes and micromorphological features of the ancient plow layer of the paleosol in comparison with the plow layer of the modern soil in the Lajia Ruins. Therefore, a comparative study was carried out on micromorphologies of the two soils in an attempt to reveal their development processes and micromorphological features. Micromorphological features of different genetic layers of the soil profile in the Lajia Ruins were observed under a Leica-DMRX petrographic microscope, and their images was quantitatively measured using Leica-Qwin V3 software. The main micromorphological features of the ancient plow layer of the paleosol of the Qijia Culture (Ah_2/Ap_4) are round to sub-round coarse grains, low $C/F_{15\mu m}$, poorly directive permutation, abundant illuvial clay hypocoatings and concretion, abundant needle-shaped secondary-calcite at edge of pores, high porosity consisting mainly of smooth circular pores and bag holes. The ancient plow layer of the paleosol of the Xindian Culture (Ah_1/Ap_3) is quite similar to the ancient plow layer of the paleosol of the Qijia Culture (Ah_2/Ap_4) in micromorphological features, except for $C/F_{15\mu m}$, which is higher in the former, and proportion of illuvial clay, which is lower in the former. The main micromorphological features of the ancient plow layer of the paleosol (Ah_2/Ap_4 , Ah_1/Ap_3) are different from that of the modern plow layer (Ap_1) in the Lajia Ruins. The Ap_1 horizon is characterized by sub-angular to sub-round coarse grains, abundant residual clay concretion and a little amount of illuvial clay hypocoatings, abundant needle-shaped secondary-calcite, low porosity, and high $C/F_{15\mu m}$. Both the Ah_2/Ap_4 horizon of the Qijia Culture and Ah_1/Ap_3 horizon of the Xindian Culture are Ustic Isohumisol. They formed in the mid-Holocene Climatic Optimum under simple cultivation of the ancient people and paleontological climate. The Ap_1 horizon is Calci-orthic Aridosol, a soil formed under the inegrated effect of long-term manure application, crop cultivation and deposition of dust storms during the past 1 500 years. Its micromorphological features are mainly controlled by the degree and manner of human activities.

Key words Micromorphology; Ancient plow layer; Modern plow layer; Lajia Ruins; Guanting Basin

(责任编辑: 檀满枝)