

文章编号: 1008-2786-(2018)1-001-12

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000295

青海喇家遗址全新世中期土壤与 泥流沉积物地球化学特征

郑紫星¹, 黄春长^{1*}, 赵辉¹, 郭永强^{1,2}, 周亚利¹

(1. 陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 西安 710062; 2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 通过对青海官亭盆地详细的野外考察, 在民和县喇家遗址北部发现了典型的全新世中期风成黄土古土壤剖面。经过详细的野外考察、系统采样和地球化学元素分析、粒度、磁化率等指标测定, 从剖面中初步鉴别出两组红粘土质泥流沉积层(RC₁、RC₂), 分别记录了发生在 3850 a B. P. 至 3600 a B. P. 期间的两场大型泥流事件。该研究主要对剖面中两层红色粘土质泥流沉积层与古土壤层以及岗沟源区沉积物的地球化学性质进行对比研究。结果表明: (1) 两层红粘土层均为喇家遗址后山沟源区域的暴雨山洪泥流堆积物, 粘土质细粉沙质地, 层次混乱, 随古地面地形起伏变化, 含沙石、黄土团块、陶片和木炭屑等。(2) 单个泥流堆积层中, 元素含量变化剧烈且有极值出现, 这是多次暴雨泥流间歇性发生的有力证据。(3) 两层红色粘土层与岗沟源区第三纪红粘土的理化特征都极为相近, 据此, 可推断出该剖面中两层红粘土层均源自北侧谷坡大红山(第三纪红色粘土)地区的大规模暴雨山洪泥流。这些研究成果对于深入理解黄河上游地区史前环境变化及其产生的自然灾害、人类活动之间的关系具有重要的科学价值。

关键词: 喇家遗址; 古土壤; 红色粘土; 泥流; 化学元素

中图分类号: P532

文献标志码: A

黄河上游甘青地区史前环境变化和灾害是目前国内外地学界高度关注的科学问题^[1~10]。喇家遗址是该阶段形成的具有重要科研和考古价值的史前灾难遗迹, 但目前对其成因的科学认识具有较大的争议^[11~22]。本文通过研究官亭盆地喇家遗址全新世中期沉积地层的地球化学元素的迁移、富集和不同层位元素的分布特征, 可以进一步指示喇家遗址史前灾难事件。

青海官亭盆地喇家遗址地区全新世中期古土壤地层中夹有红粘土质泥流堆积层。剖面中红粘土质泥流沉积层是泥流泥石流经过山洪暴雨的冲刷在平坦地面上扩散堆积形成的松散堆积物^[19,22,23], 而古土壤则是来源于西北内陆盆地和戈壁沙漠地区的沙

尘暴堆积物, 经过近地面风力搬运, 风化成壤改造而成而古土壤^[3,24~27]。因此, 红粘土质泥流堆积物与古土壤沉积物的沉积学特征和地球化学元素的分布迁移情况等有很大的区别。目前, 已有学者从理化性质方面将不同沉积物进行对比, 从而揭示泥流堆积物与古土壤沉积物的不同, 但通过微观元素迁移分布特征来揭示古土壤地层中泥流堆积物与土壤沉积物区别的研究很少。本文以官亭盆地典型的全新世中期风成古土壤剖面作为研究对象, 通过地球化学元素方法对红粘土质泥流堆积物与古土壤中元素含量分布迁移、变化规律等进行对比研究, 试图根据沉积物的元素地球化学特征, 结合野外宏观特征观察, 从全新世中期风成黄土古土壤剖面中准确

收稿日期 (Received date): 2017-09-30; **改回日期** (Accepted date): 2017-11-29

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金面上项目(41771110)。[National Nature Science Foundation of China(41771110)]

作者简介 (Biography): 郑紫星(1993-), 女, 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向为资源开发与环境演变。[Zheng Zixing(1993-), female, born in Datong, Shanxi, M. Sc. candidate, major in resource development & environment evolution.] E-mail: zhengzx1211@163.com

*** 通讯作者** (Corresponding author): 黄春长(1953-), 男, 陕西彬县人, 教授, 博导, 主要从事全新世环境变化与人类关系演变研究。[Huang Chunchang(1953-), male, born in Shannxi, professor, research fields cover climate change during the Holocene, and human-natural relationship evolution study.] E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

表 1 官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤地层划分与描述

Tab 1 Pedo-stratigraphic subdivision and descriptions of the mid-Holocene in the Lajia Ruins in the Guanting Basin

地层	土壤学和沉积学特征描述
现代表土层(TS)	60 ~ 0 cm, 橙色 (7.5YR6/6), 粉沙质地, 团粒构造, 疏松多孔, 含有大量的植物根系, 多蚯蚓孔洞和粪团, 厚度在 50 ~ 70 cm 之间
近代黄土层(L ₀)	100 ~ 60 cm, 浊黄橙色 (7.5YR7/4), 粗粉沙质地, 团块-块状构造, 疏松多孔, 含有少量蚯蚓孔洞、粪粒及植物根系, 有微弱的成壤作用, 假菌丝体发育, 夹辛店文化晚期(2600a)文化层, 厚度约 30 ~ 50 cm
全新世中期黑垆土类古土壤层上段(S _{0上})	135 ~ 100 cm, 灰棕色(5YR6/2), 粉沙质地, 团粒构造, 比较疏松, 多蚯蚓孔和粪团, 孔隙内和结构面有白色可溶盐类粉霜沉淀(化学分析结果表明 Na 和 Ca 含量较高), 为发育成熟度很高的黑垆土, 厚度在 30 ~ 40 cm 之间。在喇家遗址 XI 发掘区地层剖面, 可见辛店文化(3400 ~ 2700 a BP)早期文化层, 被该层段黑垆土覆盖埋藏 ^[25,26]
粘土层泥流过程沉积的红色粘土层(RC ₂)	175 ~ 135 cm, 橙色 (2.5YR7/8), 粘土质细粉沙质地, 团块状构造, 其中混杂有沙团、石子和黄土块等, 并且显示出粘稠状态流动的内部构造, 随地形变化而波状起伏, 厚度变化在 30 ~ 50 cm 之间
全新世中期黑垆土类古土壤层中段(S _{0中})	210 ~ 175 cm, 灰棕色 (5YR6/2), 粉沙质地, 团块状构造, 比较疏松, 多蚯蚓孔和粪团, 结构面有白色可溶盐类粉霜沉淀, 为发育成熟度最高的黑垆土, 厚度在 30 ~ 50 cm 之间。在有些地段该层段由于土壤侵蚀或者人类活动影响而缺失
粘土层泥流过程沉积的红色粘土层(RC ₁)	250 ~ 210 cm, 亮红棕色 (2.5YR5/8), 粘土质细粉沙质地, 团块状构造, 其中混杂有沙团、石子和黄土块, 以及陶片、木炭屑、灰烬和烧土块等人类文化遗物, 粘稠并且显示出粘稠状态流动的内部构造, 随地形变化而波状起伏, 厚度变化在 30 ~ 250 cm 之间。对喇家遗址考古发掘揭示居室地面、不同姿态和关系的人体骨骼、器物 and 盛有面条的陶碗等, 粘土皆被这套红色粘土泥流和泥沙沉积物包裹
全新世中期黑垆土类古土壤下段(S _{0下})	320 ~ 250 cm, 灰棕色 (5YR6/2), 粉沙质地, 团粒状构造, 疏松多孔, 多蚯蚓孔和粪团, 为发育程度很高的黑垆土, 下部结构面和孔隙皆有白色可溶盐沉淀, 厚度在 50 ~ 90 cm 之间。在喇家遗址聚落发掘区域, 可见该层顶部为喇家遗址齐家文化时期人类生活生产活动的古老地面, 在聚落区域该层多被各种文化层或者扰动层所取代, 根据大量 ¹⁴ C 测年数据, 确定该聚落存在于 4200 ~ 3850 a BP ^[30,31] 。在近沟道地带该层中常有山洪沉积的沙土砂砾混杂物加入

中存在两层红粘土质泥流堆积层。表明全新世中期青海官亭盆地实际发生过的两期大规模泥流事件, 根据喇家遗址区范围内其他剖面的地层测年结果的对比^[30,31], 并结合黄土高原地区全新世剖面的基本年代框架, 以及下层红粘土质泥流堆积层直接覆盖在喇家遗址齐家文化层(4200 ~ 3850 a B. P.) 人类活动古地面之上的地层位置, 可以判断下层红色粘土层(RC₁) 沉积于 3850 a B. P.。同时, 在喇家遗址 XI 发掘区地层剖面, 可见辛店文化(3400 ~ 2700 a B. P.) 早期文化层埋藏于上段黑垆土类古土壤中^[30,31], 根据董光辉等 2017 年地震喷砂内动物骨骼¹⁴C 测年结果^[13], 以及上层红色粘土质泥流堆积层(RC₂) 之上则为早期辛店文化层(3400 ~ 2700 a B. P.) 人类活动古地面, 判断上层红色粘土层顶界年代大约是 3600 a B. P.。

3 研究方法

通过细致的野外考察, 于 2015 年 10 月在对喇家遗址剖面开展地层划分的基础上, 从距离地表一米开始每隔 4 cm 厚度向下进行高密度连续采样, 共采集了沉积样品 52 个, 同时采集了 2015 年喇家遗址北部大红山(第三纪红粘土)脚下岗沟源区的

沉积学样品(岗沟源区沉积物), 进行对比分析。在室内自然风干后, 对实验样品进行了磁化率、粒度成分、地球化学元素含量的测试。具体如下: 磁化率测定采用英国 Bartington 公司生产的 MS-2 型磁化率仪, 取自然风干样品 10 g, 将其放入小塑料盒中, 分别进行高频(4700 Hz) 和低频磁化率(470 Hz) 测定。粒度测定是采用美国 Beckman coulter 公司生产的 LS 13320 型激光粒度仪, 用电子天平(精度为 0.0001 g) 取大约 0.4 g 风干土样, 先加入 10% 的 H₂O₂ 除去有机质, 10% 的 HCL 去除次生碳酸盐, 后加水清洗至溶液呈中性, 再加入适量六偏磷酸钠(NaPO₃)₆ 充分分散样品, 超声 5 分钟后上机测试。地球化学元素含量测定是将风干后研磨至粒径 200 目以下的样品精确称取 4 g(精度为 0.0001 g), 加入硼酸, 在 YY-60 型压样机上压片, 采用荷兰 Panalytical 公司生产的 PW2403 X-Ray 荧光光谱仪, 实验中加入国家标准样品来测量误差, 相对误差小于 5%。

4 实验结果分析与讨论

4.1 沉积物粒度分析

粒度分析结果显示(图 3), 官亭盆地喇家遗址

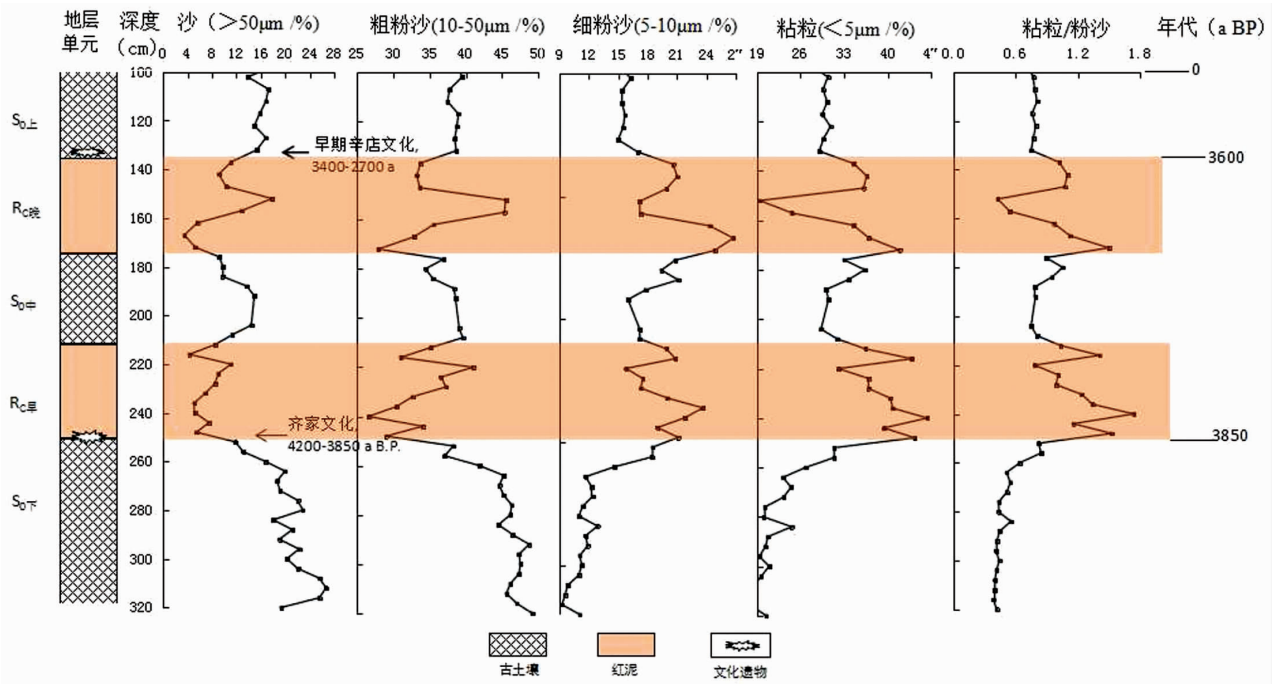


图3 官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤地层划分和粒度分级曲线

Fig. 3 Diagrams showing the pedo-stratigraphy and particle-size distribution of the mid-Holocene in the Lajia Ruins in the Guanting Basin

全新世中期土壤剖面中,古土壤层($S_{0上}$ 、 $S_{0中}$ 、 $S_{0下}$)粒度成分以粗粉沙含量为主,而粘粒和细粉沙含量较低;两层红色粘土层(RC_1 、 RC_2)的粒度成分均以粘粒和细粉沙为主,而沙和粗粉沙含量较低,其中突出的高值对应的是每一期多次泥流的间隔夹层。这清楚地说明了红粘土层的粒度成分总体比古土壤细,它是由和细粉砂构成,两种不同类型沉积物粒级差别很大,这初步指示了它们的物源可能有所不同。

沉积物粒度自然分布频率曲线可以直观地反映沉积物的来源^[33]。如图4所示,两层红色粘土层(RC_1 、 RC_2)的自然分布频率曲线均呈现单峰,峰态宽平,主峰出现在细粉砂段,自然分布频率曲线与北侧岗沟源区第三纪红粘土的粒度分布频率曲线极为相近,而黄河T2阶地河漫滩相黄色沙层峰态尖窄,与红色粘土层有着显著的区别。因此,可初步判定两层红色粘土层与岗沟源区第三纪红粘土的物质来源一致。

4.2 常量元素变化特征

第四纪风成沉积物中常量元素的含量变化可以指示古气候环境变化^[34,35]。在官亭盆地喇家遗址剖面,我们选取 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 、 CaO 和 Na_2O 这6个常量元素来进行分析。变异系数是用来衡量元素分散程度的指数^[36]。总体看来,整个剖面元素的变异系数较小,分别为 0.093、0.145、

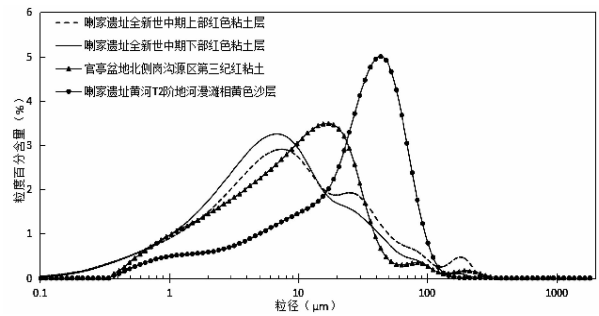


图4 官亭盆地喇家遗址红色粘土层与岗沟源区第三纪红粘土及黄河河漫滩相黄沙粒度自然频率曲线

Fig. 4 Two layers of conglomerated red clay at the Lajia Ruins compared with gully deposit at the GRH site and floodplain deposit in secondary bench of Yellow River

0.102、0.091、0.218 和 0.213, 表明剖面中的常量元素组成较为均一。如图5所示, Al_2O_3 的含量介于 $114.1 \sim 161.5 \text{ g kg}^{-1}$ 之间, Fe_2O_3 的含量介于 $38.9 \sim 65.6 \text{ g kg}^{-1}$ 之间, MgO 的含量介于 $23.5 \sim 34.3 \text{ g kg}^{-1}$ 之间, K_2O 的含量介于 $21.3 \sim 29.4 \text{ g kg}^{-1}$ 之间, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 元素含量在古土壤层 S_0 当中呈现较低值, 其中在 $S_{0下}$ 段达到最低值, 而在红粘土质泥流堆积层中呈现较高值, 且它们的含量波动很大, 变化剧烈, 在每个单层红色粘土质泥流堆积层中, 有峰值出现。

该剖面中, Fe_2O_3 的含量与磁化率值和粘粒含

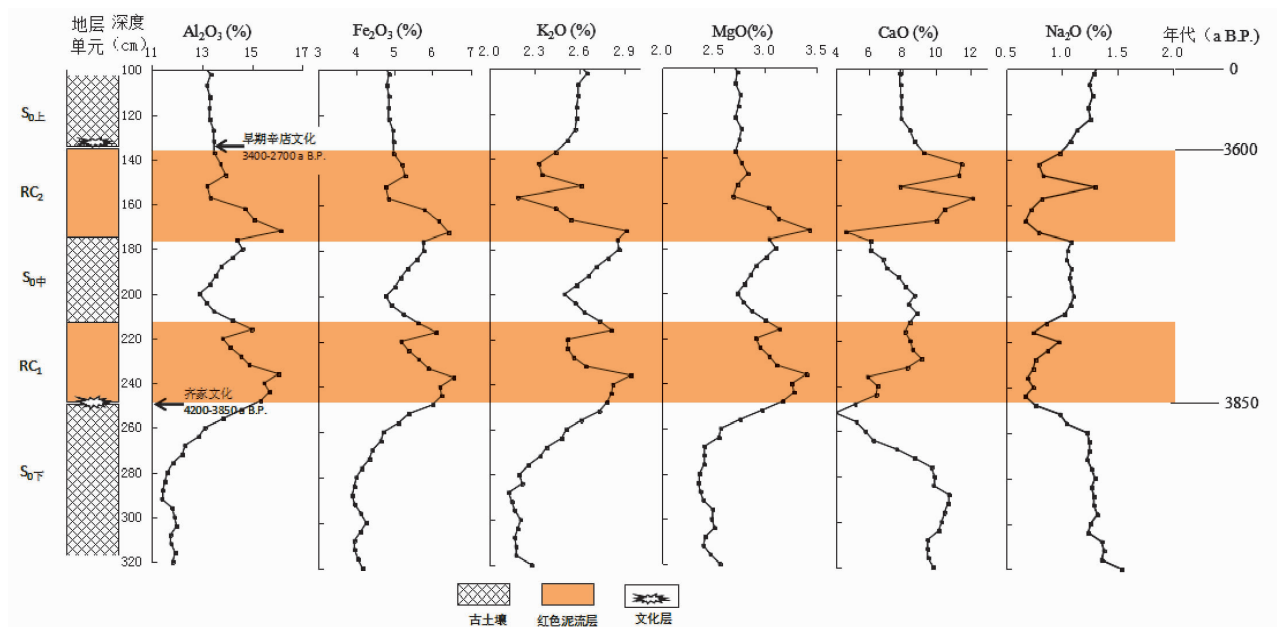


图5 官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤地层 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 MgO 、 CaO 和 Na_2O 含量变化曲线

Fig. 5 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 MgO 、 CaO and Na_2O of the mid-Holocene in the Lajia Ruins in the Guanting Basin

量呈显著正相关, 相关系数分别为 0.488 和 0.930, 氧化物 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 MgO 和 K_2O 的曲线变化趋势一致(图 5、图 6a - c), 它们的含量在古土壤层 S_0

中较低, 在全新世中期古土壤层 S_0 270 ~ 300 cm 处, Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 K_2O 和 MgO 曲线波动剧烈, 元素含量急剧下降, 且在相应层位发现了木炭屑、陶片

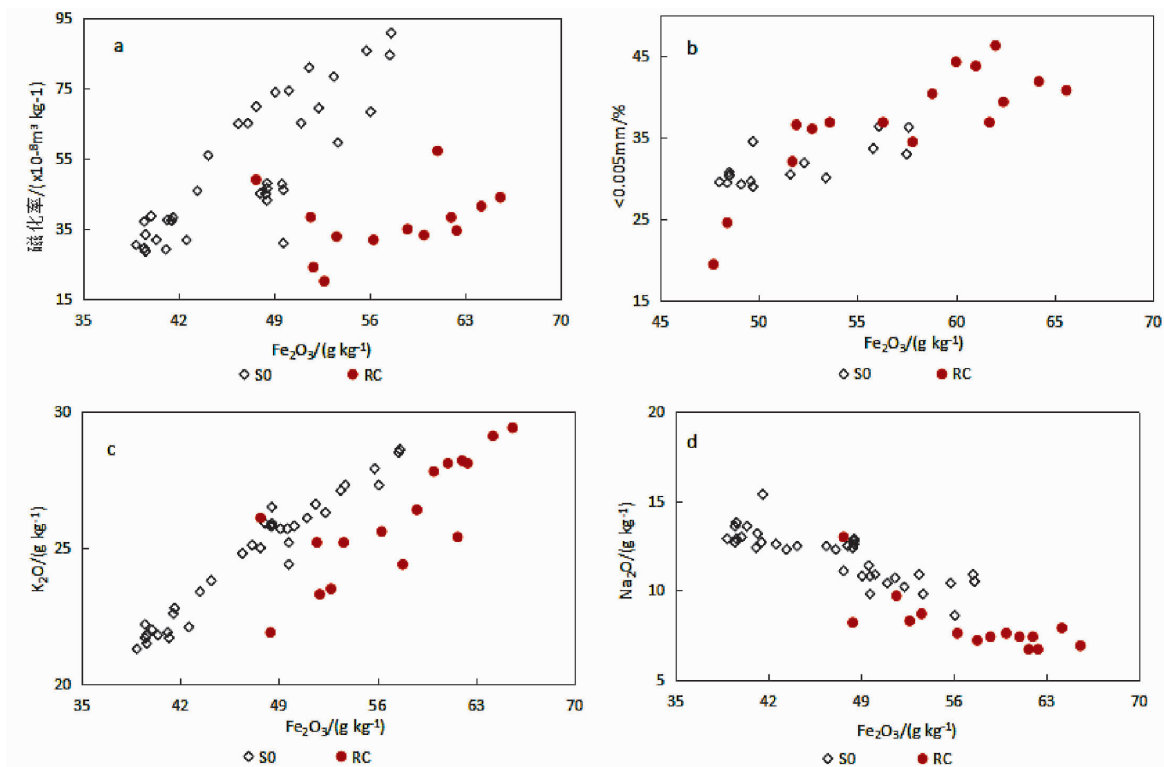


图6 官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤的 (a) 磁化率和 Fe_2O_3 , (b) 粘粒成分和 Fe_2O_3 , (c) K_2O 和 Fe_2O_3 , (d) Na_2O 和 Fe_2O_3 关系散点图

Fig. 6 Biplots showing the relationships between (a) magnetic susceptibility and Fe_2O_3 , (b) clay and Fe_2O_3 , (c) K_2O and Fe_2O_3 , (d) Na_2O and Fe_2O_3 in the Lajia Ruins in the Guanting Basin

和烧土块等人类活动的文化遗物,说明人类活动对风化成壤作用产生了一定的影响,这可能是喇家遗址齐家文化(4200~3950 a B.P.)时期人类粟作农业耕作造成的结果^[37]。两层红色粘土质泥流堆积层中,这些元素含量有很大的波动且每层泥流堆积层中均有极值出现,这是由于山洪泥流在运动过程中卷入了当时地表的垃圾和杂物,土体不纯且这些氧化物通过物理沉降淀积富集在泥流堆积层中。

图5所示,在官亭盆地喇家遗址全新世中期风成黄土古土壤剖面中CaO和Na₂O元素的含量分别介于39.7~121.7 g kg⁻¹和54.0~69.9 g kg⁻¹之间, CaO和Na₂O元素含量变化曲线与Fe₂O₃、Al₂O₃、K₂O、MgO含量变化曲线呈镜像关系,在古土壤层S₀中含量较高(图5、图6d)。剖面中两层红色粘土质泥流堆积层中CaO和Na₂O等含量较低,但是由于两期大规模暴雨泥流事件,可能发生在不同的支流沟谷,且地表扩散过程中卷入了垃圾和杂物等,导致泥流堆积层的土体性质有所不同,因此红粘土质泥流堆积层中CaO的含量变化较大。可以看出在两期泥流中,早期泥流(RC₁)的CaO是从极低值—极高值—极低值的变化,晚期泥流(RC₂)的CaO是从极低值—极高值—极低值—极高值—极低值的变化,说明每期泥流可能至少发生两次。

沉积物的化学风化程度常用常量元素氧化物的分子比率来衡量^[38,39]。在官亭盆地喇家遗址古土壤剖面中,我们选取钾钠比(K₂O/Na₂O)、淋溶系数[(CaO + K₂O + Na₂O)/Al₂O₃]、化学蚀变指数CIA [Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + K₂O + Na₂O) * 100%]来进行分析。钾长石风化速度远小于斜长石,因此钾钠比与沉积物化学风化程度呈正相关关系^[40]。从图7可以看出,钾钠比在1.48~4.26之间变化,其中,古土壤层中比值较高,而在两层红粘土质泥流堆积层中,其比值要远高于古土壤层,这可能是由于红粘土本身在形成过程中风化成壤较强。淋溶系数反映的是活动组分和惰性组分的相互关系,在0.51~1.24之间变化,其中,古土壤层中比值较低,而在两层红粘土质泥流堆积层中,均有极值出现且呈现出强烈波动状态,这是由于松散粘土物质在强降水的作用下,被冲刷搬运至地表的过程中卷入了地表土壤导致土质不纯。化学蚀变指数CIA在44.6~66.1之间变化, CIA参数变化与淋溶系数的变化特征相反,其中古土壤层中呈现高值,而在两层红粘土质泥流堆积层中, CIA参数呈现出相反变化,这可能是由于两期暴雨泥流事件发生的气候背景以及环境状况有所不同。

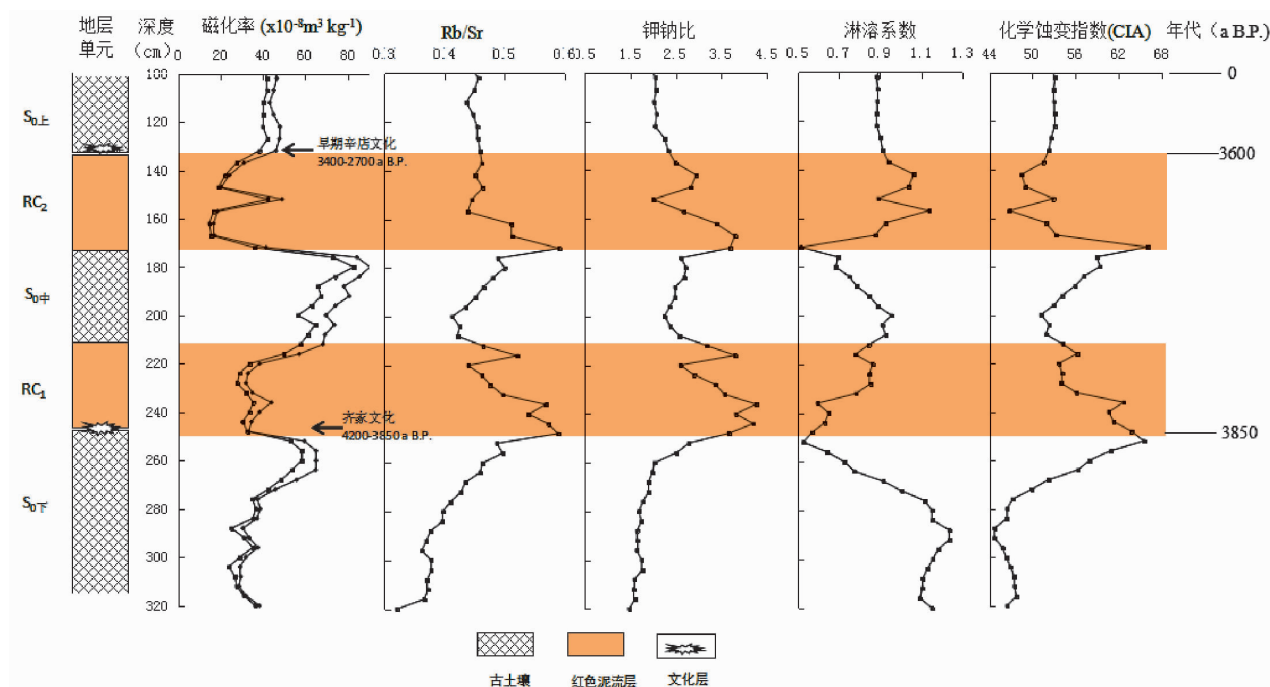


图7 官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤地层磁化率、Rb/Sr、钾钠比、淋溶系数和CIA曲线

Fig.7 Curves of magnetic susceptibility, Rb/Sr ratio, K₂O/Na₂O ratio, leaching coefficient and CIA of the mid-Holocene in the Lajia Ruins in the Guanting Basin

4.3 微量元素变化特征

在官亭盆地喇家遗址剖面,我们选取 Rb、Sr、Ba、P、Ti 和 Y 这 6 个微量元素来进行分析。总体看来,微量元素的变异系数小,分别为 0.113、0.050、0.056、0.124、0.065 和 0.042,说明剖面中的微量元素组成高度均一。黄土高原地区,风成黄土土壤沉积物中 Rb 和 Sr 的含量及 Rb/Sr 值的高低可以反映风化成壤程度^[41~44]。由图 8 可以看出,Rb 和 Ba 在古土壤中的值较高,这是由于它们的稳定性强^[45],Rb 主要赋存于比较稳定的含 K 的矿物中,在风化过程中不会被迁移淋失,但由于易溶碳酸盐在强风化成壤过程中,淋溶和淀积作用强烈,使得 Rb 和 Ba 在黑垆土类古土壤 S_0 中富集。Sr 和 P 在古土壤中的值较小,这是由于 Sr 和 P 稳定性极弱^[45],极其容易迁移淋失,Sr 主要赋存于容易风化的含 Ca 矿物中,在全新世中期,气候温暖湿润,黑垆土类古土壤 $S_{0中}$ 粘土矿物含量高,粘化作用强烈,使得 Sr 和 P 发生了强烈的淋溶迁移,Rb/Sr 实际上表示的是黄土物质在风化成壤过程中的淋失程度^[41,46],Rb/Sr 值在古土壤中较高,表明全新世中期暖湿的气候环境下,风化成壤作用强烈,随着含 Ca 矿物的强烈风化,Sr 大量迁移淋失,导致古土壤中 Rb/Sr 值较高^[47]。我们可以清晰地看出 Rb、Sr 的含量以及 Rb/Sr 值在两层红色粘土层中呈现出无规律的大幅波动情况并且在两层红色粘土质泥流堆

积层中,均有极值出现,例如:Rb 在红粘土中的变化范围在 98.9~134.1 之间,Sr 在红粘土中的变化范围在 211.4~266.9 之间,Ba 在红粘土中的变化范围在 436~597 之间,P 在红粘土中的变化范围在 445~745 之间。这是因为红粘土是泥流运动过程中,卷入地表杂物且快速堆积而成,沉积之后尚未受到风化成壤作用的影响。

Ti 和 Y 在古土壤层中含量变化较小,这是因为 Ti 和 Y 的化学性质相对较为稳定,具有很强的抗风化性^[48,49],所以受风化成壤的影响很小。官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤剖面中,Ti 元素含量变化在 3240.4~4195 之间,可以看出波动较大的阶段位于两层红粘土质泥流堆积层中且出现极值,Ti 属于铁族元素,在自然界中主要以其氧化物二氧化钛的形式存在,不易被淋滤,因此黄土层中 Ti 的含量远高于其他微量元素。该剖面中,Y 元素含量变化在 22~27.1 之间,Y 属于稀土元素^[50],在黄土高原地区土壤呈弱碱性,因此在化学风化作用下,它很难溶解迁移,而多以其矿物碎屑存留在土层中^[51]。

通过以上的深度分析对比可以发现:常量元素和微量元素在全新世中期古土壤层中表现出渐变特征,而在红粘土质泥流堆积层中表现为突变的特征,界线十分明确,这是泥流堆积与古土壤最大的不同。因此,根据沉积物室内的地球化学参数,结

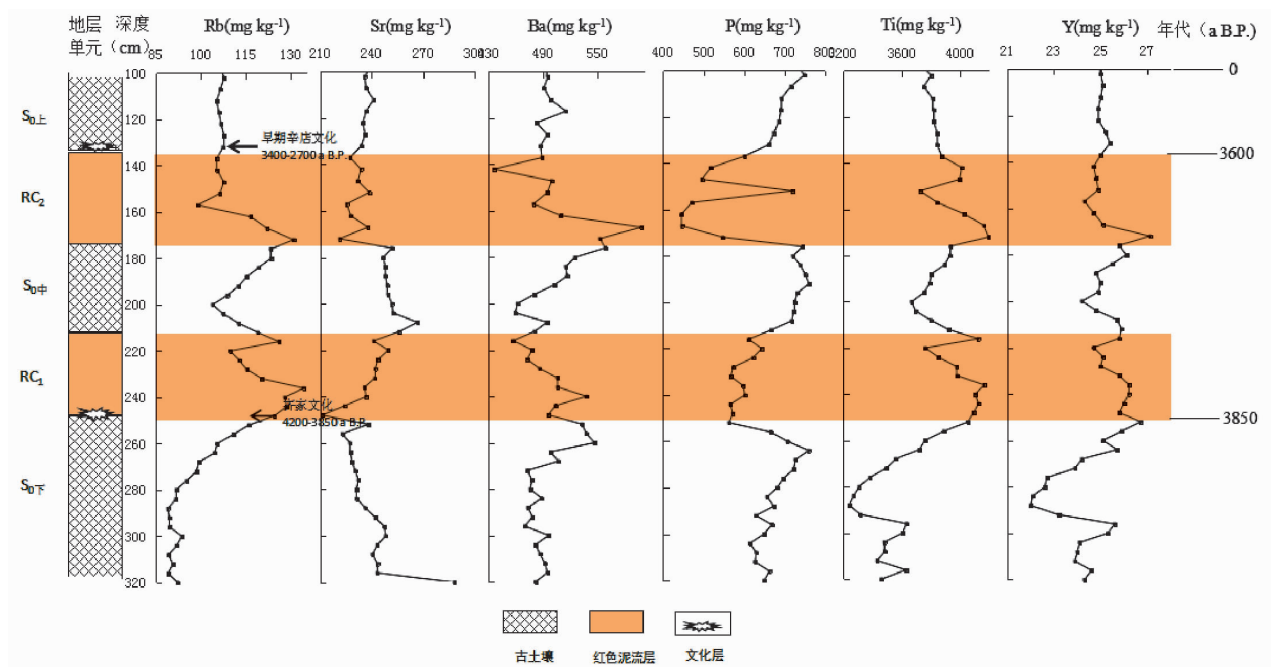


图 8 官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤地层 Rb、Sr、Ba、P、Ti 和 Y 含量变化曲线

Fig. 8 Curves of Rb, Sr, Ba, P, Ti and Y of the mid-Holocene in the Lajia Ruins in the Guanting Basin

合野外宏观特征观察,就能够准确地从全新世中期古土壤沉积层中鉴别出红粘土质泥流堆积层。

4.4 元素 UCC 标准化分析

如表 2 所示,官亭盆地喇家遗址全新世中期土壤剖面中,两层红粘土质泥流堆积层 (RC_1 、 RC_2) 的地球化学元素含量基本相似,它们均与遗址北侧岗沟源区第三纪红粘土的化学元素含量极为相近。因此,晚期红色粘土层 (RC_2) 与下层红色粘土层 (RC_1) 一样为泥流的沉积过程中的红粘土堆积物,它们与岗沟源区第三纪红粘土的物质来源一致,即来源于官亭盆地北侧谷坡大红山沟头地区的第三纪红色粘土地层风化物。图 9 为喇家遗址黄土土壤剖面中两层红色粘土层与岗沟源区第三纪红粘土的地球化学元素与 UCC 比率曲线。从图 9 中也可以看出,两层红色粘土质泥流堆积层与岗沟源区第三纪红粘土(除了 Na_2O 和 Ti_2O) 地球化学元素含量极为相近。

5 结论

通过对黄河上游二级阶地广泛地野外考察,在民和县官亭盆地喇家遗址周围发现了典型的全新世中期古土壤剖面。对该剖面进行系统采样、地层划分、文化遗物鉴别等,并将该剖面与其他剖面的地层测年结果进行对比,经过室内沉积学分析和地球化学特征分析,得出了大量可靠的数据。本文着重研究了喇家遗址全新世中期风成黄土古土壤剖面中常量元素 (Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 、 CaO 和 Na_2O) 和微量元素 (Rb、Sr、Ba、P、Ti 和 Y) 在不同层位的含量变化规律,并将沉积地层中两层红色粘土层与岗沟源区沉积物的理化特征进行对比,从而得出以下两点

表 2 官亭盆地喇家遗址红色粘土层与岗沟源区第三纪红粘土地球化学元素含量

Tab. 2 Concentration of elements in two layers of conglomerated red clay in Lajia Ruins and the gully deposit at the foot of the Great Red Hills behind the Lajia Ruins.

	泥流过程沉积的红粘土 RC_1	泥流过程沉积的红粘土 RC_2	岗沟源区第三纪红粘土 1 号	岗沟源区第三纪红粘土 2 号
SiO_2 (%)	55.92	53.67	54.28	54.08
Al_2O_3 (%)	14.99	15.09	19.1	18.43
Fe_2O_3 (%)	6.1	6.17	7.48	6.98
CaO (%)	0.814	1	0.6	0.65
MgO (%)	3.14	3.13	3.98	3.61
Na_2O (%)	0.74	0.67	2.7	2.73
K_2O (%)	2.81	2.54	3.91	3.67
TiO_2 (%)	0.6871	0.6937	0.4	0.4
MnO (%)	0.1	0.09	0.09	0.11
Rb (ppm)	125.9	122	174	161.2
Sr (ppm)	241.4	237.8	390	342.3
Ba (ppm)	457.2	597	469.7	518.2
Y (ppm)	25.8	25.1	26.2	26.4
Ga (ppm)	20.3	22.3	28.4	27.1
U (ppm)	5.1	5.4	5.6	4.6
Th (ppm)	19.6	17.4	21.4	19
Zn (ppm)	90	84.8	113	105.2
Cu (ppm)	35.6	34.1	45.2	40.9
V (ppm)	103.8	112.5	129.1	124.9
Ni (ppm)	41.2	40.1	46.3	43.7
Cr (ppm)	82.6	80.2	96.7	91.6
Zr (ppm)	151.9	135.6	130.5	135.9

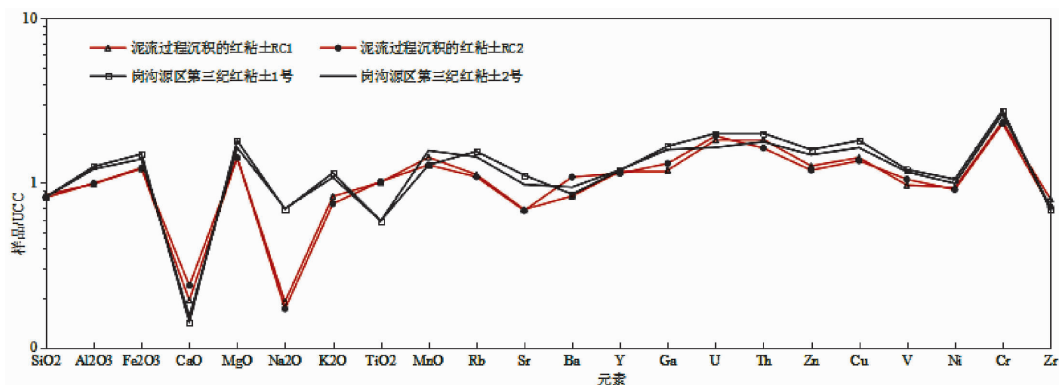


图 9 官亭盆地喇家遗址红色粘土层与岗沟源区第三纪红粘土地球化学元素与 UCC 比率

Fig. 9 Element ratio of the sample/UCC indicating that two layers of conglomerated red clay are related closely to the gully deposit at the foot of the Great Red Hills behind the Lajia Ruins.

结论:

(1) 红粘土质泥流堆积层中常量元素(Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 、 CaO 和 Na_2O) 和微量元素(Rb、Sr、Ba、P、Ti 和 Y) 含量变化剧烈,且在单个红粘土质泥流堆积层中,均有极值出现,这是泥流堆积与古土壤在地球化学特征上最大的不同,它表明了喇家遗址的毁灭是多次暴雨泥流间歇性发生的结果。因此,根据沉积物室内的地球化学参数,结合野外宏观特征观察,就能够准确地从全新世中期古土壤沉积层中鉴别出红粘土质泥流堆积层。

(2) 剖面中两层红色粘土层与喇家遗址北部大红山(第三纪红粘土)脚下的岗沟源区第三纪红粘土的理化特征基本相似,而与黄河 T2 阶地河漫滩相黄沙相差甚远,这说明两层红粘土质泥流堆积物与岗沟源区第三纪红粘土物质来源一致,即来源于官亭盆地北侧谷坡大红山沟头地区的第三纪红色粘土地层风化物。

本文通过分析喇家遗址北部沉积地层的地球化学特征,于全新世中期古土壤地层中准确地鉴别出两组红粘土质泥流堆积层,揭示出它们所记录的两期大型泥流事件。通过两层红粘土层与岗沟源区沉积物的理化特征对比,准确的追溯了黄河上游喇家遗址沉积地层中两层红色粘土层的物质来源。该成果对于深入理解黄河上游地区史前环境变化及其产生的自然灾害、人类活动之间的关系具有重大的科学价值,同时为我们选择更加合理的生存方式提供重要的提示。

参考文献(References)

- [1] AN C B, CHEN F H, FENG Z D. Study on the relationship between the vegetation change and the human activities in the Gangsu-Qinghai region during the period from mid-to late-Holocene[J]. Arid Land Geogr, 2002, **25**(2): 160 - 164
- [2] AN C B, TANG L Y, BARTON L, et al. Climate change and cultural response around 4000 cal yr BP in the western part of Chinese Loess Plateau[J]. Quaternary Research, 2005, **63**(3): 347 - 352
- [3] Dong G H, JIA X, ELSTON R G, et al. Spatial and temporal variety of prehistoric human settlement and its influencing factors in the upper Yellow River valley, Qinghai Province, China[J]. Journal of Archaeological Science, 2013, **40**(5): 2538 - 2546
- [4] LI Q, DONG G H, WEN L J, et al. Overbank flooding and human occupation of the Shalongka site in the Upper Yellow River Valley, northeast Tibet Plateau in relation to climate change since the last deglaciation[J]. Quaternary Research, 2014, **82**(2): 354 - 365
- [5] HOU G L, LAI Z P, CAO G C, et al. The earliest prehistoric pottery in the Qinghai-Tibetan Plateau and its archaeological implications[J]. Quaternary Geochronology, 2015, **30**: 431 - 437
- [6] WU Q, ZHAO Z, LIU L, et al. Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty[J]. Science, 2016, **353**(6299): 579 - 582
- [7] HUANG C C, ZHOU Y, ZHANG Y, et al. Comment on "Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty"[J]. Science, 2017, **355**(6332): 1382 - 1382
- [8] WU Q, ZHAO Z, LIU L, et al. Response to Comments on "Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty"[J]. Science, 2017, **355**(6332): 1382 - 1382
- [9] WU W, DAI J, ZHOU Y, et al. Comment on "Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty"[J]. Science, 2017, **355**(6332): 1382 - 1382
- [10] 张玉柱, 黄春长, 周亚利, 等. 黄河上游积石峡史前滑坡堰塞湖形成年代与发展演变研究. 中国科学: 地球科学, 47 [ZHANG Yuzhu, HUANG Chunchang, ZHOU Yali, et al. Formation and development of the prehistorical landslide dammed-lake in the Jishixia Gorge along the upper Yellow River (in Chinese). Scientia Sinica Terrae]
- [11] 张信宝. 青海民和喇家遗址的古地震与古溃决洪水质疑[J]. 山地学报, 2017, **35**(03): 255 - 256 [ZHANG Xinbao. On the debate about the evidences of the ancient earthquake and the outburst great flood at Qinghai Minhe Lajia Ruins[J]. Mountain Research, 2017, **35**(03): 255 - 256]
- [12] ZHAO H, HUANG C C, ZHENG Z X, et al. New evidence for the catastrophic demise of a prehistoric settlement (the Lajia Ruins) in the Guanting Basin, Upper Yellow River, NW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2017
- [13] 董广辉, 张帆宇, 刘峰文, 等. 喇家遗址史前灾害与黄河大洪水无关. 中国科学: 地球科学 [DONG Guanghui, ZHANG Fanyu, LIU Fengwen, et al. Multiple evidences indicate no relationship between prehistoric disasters in Lajia site and outburst flood in upper Yellow River valley, China. Science China Earth Sciences]
- [14] 张小虎, 夏正楷, 杨晓燕. 青海喇家遗址废弃原因再探讨——与《古代中国的环境研究》一文作者商榷[J]. 考古与文物, 2009, (01): 100 - 103 [ZHANG Xiaohu, XIA Zhengkai, YANG Xiaoyan. Reconsideration of the reason for the disuse of Lajia site, Qinghai Province: Discussing with the authors of "Environmental aspects of Chinese antiquity" [J]. Archaeology and Cultural Relics, 2009, (01): 100 - 103]
- [15] 夏正楷, 杨晓燕. 青海喇家遗址史前灾难事件[J]. 科学通报, 2003, **48**(11): 1200 - 1204 [XIA Zhengkai, YANG Xiaoyan. Prehistoric disasters at Lajia Site, Qinghai Province, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, **48**(11): 1200 - 1204]
- [16] 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[J]. 地理学报, 2004, **59**(3): 454 - 461 [YANG Xiaoyan, XIA Zhengkai, CUI Zhijiu, et al. Environmental settings and depositional processes and distribution of the archeological sites

- in the Guanting Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, **59**(3): 454 – 461]
- [17] 李智敏, 李延京, 田勤俭, 等. 拉脊山断裂古地震与喇家遗址灾变事件关系研究[J]. *地震研究*, 2014, **37**: 109 – 115 [LI Zhimin, LI Yanjing, TIAN Qinqian, et al. Study on the Relationship between Paleoseismic on Laji Mountain Fault and Catastrophic Event on Lajiashan Site[J]. *Journal Of Seismological Research*, 2014, **37**: 109 – 115]
- [18] 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[J]. *中国科学(D 辑)*, 2009, **39**(8): 1148 – 1159 [WU Qinglong, ZHANG Peizhen, ZHANG Huiping, et al. A palaeo-earthquake induced damming and bursting of the Yellow River and the abnormal flood that destroyed Lajia Relics[J]. *Science in China; Series D*, 2009, **39**(8): 1148 – 1159]
- [19] 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[J]. *The Holocene*, 2013, **23**(11): 1584 – 1595
- [20] 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[J]. *地理学报*, 2013, **68**(5): 626 – 639 [ZHANG Yuzhu, HUANG Chunhang, PANG Jiangli, et al. OSL dating of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the Guanting Basin in the Upper Yellow River[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, **68**(5): 626 – 639]
- [21] ZHANG Y Z, HUANG C C, PANG J L, et al. A luminescence dating study of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the upper Yellow River valley, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, **87**: 157 – 164
- [22] 周强, 张玉柱. 青海喇家遗址史前灾难成因的探索与辨析[J]. *地理学报*, 2015, (11): 1774 – 1787 [ZHOU Qiang, ZHANG Yuzhu. Exploration and analysis of the reasons for pre-historical catastrophes in the Lajia Ruins, Qinghai Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, (11): 1774 – 1787]
- [23] 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[J]. *第四纪研究*, 2013, **33**(5): 995 – 1004 [YIN Zhiqiang, QIN Xiaoguang, ZHAO Wuji, et al. Reexploration on the formation mechanism of the red clay layer in the Guanting Basin of the upper reaches of Yellow River[J]. *Quaternary Research*, 2013, **33**(5): 995 – 1004]
- [24] 卢演涛, 文启忠, 黄伯钧, 等. 中国黄土物质来源的初步探讨——石英粉砂颗粒表面结构的电子显微镜研究[J]. *地球化学*, 1976, (1): 47 – 53 [LU Yanchou, WEN Qizhong, HUANG Bojun, et al. A preliminary discussion on the source of loessic materials in China—a study of the surface textures of silt quartz grains by transmission electron microscope[J]. *Geochimica*, 1976, (1): 47 – 53]
- [25] 饶文波, 杨杰东, 陈骏, 等. 中国干旱—半干旱区风尘物质的 Sr, Nd 同位素地球化学: 对黄土来源和季风演变的指示[J]. *科学通报*, 2006, (4): 378 – 386 [RAO Wenbo, YANG Jiedong, CHEN Jun, et al. Sr, Nd isotopic geochemistry of eolian dust of the arid-semiarid areas in China; Implications for loess provenance and monsoon evolution [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, (4): 378 – 386]
- [26] CHEN J, LI G J, YANG J D, et al. Nd and Sr isotopic characteristics of Chinese deserts; implications for the provenances of Asian dust [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, **71**(15): 3904 – 3914
- [27] 孙继敏. 中国黄土的物质来源及其粉尘的产生机制与搬运过程[J]. *第四纪研究*, 2004, **24**(2): 175 – 183 [SUN Jimin. Provenance forming mechanism and transport of loess in China[J]. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(2): 175 – 183]
- [28] 李高军, 车旭东, 肖国桥, 等. 西宁黄土碎屑锆石年龄特征及其对黄土高原黄土物源的指示意义[J]. *第四纪研究*, 2013, (2): 345 – 350 [LI Gaojun, CHE Xudong, XIAO Guoqiao, et al. Zircon ages of Xining loess; Implication for the provenance of the loess on Chinese Loess Plateau[J]. *Quaternary Sciences*, 2013, (2): 345 – 350]
- [29] XIE R J. Prehistorical Archaeology in the Regions of Gansu Province and Qinghai Province[M]. Beijing: Cultural Relics Press, 2002: 47 – 186
- [30] 张雪莲, 叶茂林, 仇士华, 等. 民和喇家遗址碳十四测年及初步分析[J]. *考古*, 2014, (11): 91 – 104 [ZHANG Xuelian, YE Maolin, QIU Shihua, et al. A preliminary study and The ¹⁴C dating of the Lajia Ruins[J]. *Archaeology*, 2014, (11): 91 – 104]
- [31] 叶茂林. 齐家文化农业发展的生态化适应: 原始草作农业初探——以青海喇家遗址为例[J]. *农业考古*, 2015, (6): 19 – 26 [YE Maolin. Ecological adaptation of Qijia cultural agricultural development: Preliminary exploration of originagrass-agriculture: Taking the Lajia site, Qinghai Province as an Example [J]. *Agricultural Archeology*, 2015, (6): 19 – 26]
- [32] 郭昕. 青海民和喇家遗址史前灾难成因辨析[J]. *黑龙江史志*, 2014, 1: 291 – 292 [GUO Xin. Exploration and analysis of the reasons for pre-historical catastrophes in the Lajia Ruins, Minhe County, Qinghai Province[J]. *Heilongjiang local Chronicles*, 2014, (1): 291 – 292]
- [33] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 9 – 13 [REN Mingda, WANG Nailiang. Introduction to the modern sedimentary environment [M]. Beijing: Science Press, 1981: 9 – 13]
- [34] 李铮华, 王玉海. 黄土沉积的地球化学记录与古气候演化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1998, (02): 42 – 44, 46 – 48 [LI Zhenghua, WANG Yuhai. The geochemical record of loess deposit and paleoclimatic evolution [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1998(02): 42 – 44, 46 – 48]
- [35] 李保生, 董光荣, 高尚玉, 等. 萨拉乌苏河地区地层中的碎屑矿物及其所反映的中更新世末期以来之气候环境变化[J]. *岩石矿物学杂志*, 1991, **10**(1): 84 – 90 [LI Baosheng, DONG Guangrong, GAO Shangyu, et al. The climate environment change reflected by the crumb mineral since the Middle Pleistocene according to the Salawusu River area strata[J]. *Journal of Rock*

- and Mineralogy Research, 1991, **10**(1): 84–90]
- [36] 赵梅, 查小春, 黄春长, 等. 渭河流域全新世古洪水滞流沉积物地球化学特征[J]. 水土保持学报, 2012, **26**(01): 106–111 [ZHAO Mei, ZHA Xiaochun, HUANG Chunchang, et al. Geochemical characteristics of Holocene palaeoflood slackwater deposits in Weihe River Basin [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012. **26**(1): 106–111]
- [37] 叶茂林, 吕厚远, 杨晓燕, 等. 喇家遗址四千年前的面条及其意义[N]. 中国文物报, 2005–12–23(007) [YE Maolin, LV Houyuan, YANG Xiaoyan, et al. The noodles and its significance of the four thousand years ago in the Lajia Ruins [N]. Chinese cultural relics, 2005–12–23(007)]
- [38] 文启忠. 中国黄土地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 84–92 [WEN Qizhong. Geochemistry in Chinese Loess [M]. Beijing: Science Press, 1989. 84–92]
- [39] 叶玮, Sadaya Y, Shinji K. 中国西风区黄土常量元素地球化学行为与古环境[J]. 干旱区地理, 2003, **26**(01): 23–29 [YE Wei, SADAYA Y, SHINJI K. Geochemical behavior of major element of loess in Westerly area of China and paleoclimatic implications[J]. Arid Land Geography, 2003, **26**(1): 23–29]
- [40] 陈昶, 陈骏, 刘连文. 甘肃西峰晚第三纪红粘土的化学组成及化学风化特征[J]. 地质力学学报, 2001, **7**(2): 167–175 [CHEN Yang, CHEN Jun, LIU Lianwen. Chemical composition and characterization of chemical weathering of late tertiary red clay in Xifeng, Gansu Province[J]. Journal of Geomechanics, 2001, **7**(2): 167–175]
- [41] 陈骏, 安芷生, 汪永进, 等. 最近 800ka 洛川黄土剖面中 Rb/Sr 分布和古季风变迁[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1998, **28**(6): 498–504 [CHEN Jun, AN Zhisheng, WANG Yongjin, et al. Distribution of Rb/Sr and paleo monsoon variability during the last 800ka in Luochuan an loess section, Shaanxi, China [J]. Science in China Series D: Earth Science, 1998, **28**(6): 498–504]
- [42] 陈骏, 季峻峰, 仇纲, 等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1997, **27**(5): 531–536 [CHEN Jun, LI Junfeng, QIU Gang, et al. Geochemical studied on chemical weathering degree of Luochuan Loess, Shaanxi Province[J]. Science in China: Series D, 1997, **27**(5): 531–536]
- [43] GALLET S, JAHN B, TORII M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications[J]. Chemical geology, 1996, **133**(1): 67–88
- [44] 刘丛强, 张劲, 李春来. 黄土中 CaCO₃ 含量及其 Sr 同位素组成变化与古气候波动记录[J]. 科学通报, 1999, **44**(10): 088–1092 [LIU Congqiang, ZHANG Jin, LI Chunlai, et al. Variation of CaCO₃ and Sr isotopic composition changes in the loess and the records of the paleoclimate fluctuations [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, **44**(10): 088–1092]
- [45] 陈骏, 王洪涛, 鹿化煜. 陕西洛川黄土沉积物中稀土元素及其他微量元素的化学淋滤研究[J]. 地质学报, 1996, **70**(01): 61–72 [CHEN Jun, WANG Hongtao, LU Huayu. Behaviours of ree and other trace elements during pedological weathering: Evidence from chemical leaching of loess and paleosol from the Luochuan section in central China[J]. Acta Geologica Sinica, 1996, **70**(01): 61–72]
- [46] 陈骏, 汪永进, 季峻峰, 等. 陕西洛川黄土剖面的 Rb/Sr 值及其气候地层学意义[J]. 第四纪研究, 1999, (04): 350–356 [CHEN Jun, WANG Yongjin, JI Junfeng, et al. Rb/Sr variations and its climatic stratigraphical significance of loess-paleosol profile from Luochuan, Shaanxi Province[J]. Quaternary Sciences, 1999, (04): 350–356]
- [47] CHEN J, AN Z S, HEAD J. Variation of Rb/Sr ratios in the loess-paleosol sequences of central China during the last 130,000 years and their implications for monsoon paleoclimatology[J]. Quaternary Research, 1999, **51**(3): 215–219
- [48] PORSTER S C, W J Z. Synchronism of Holocene East Asian monsoon variations and North Atlantic drift-ice tracers[J]. Quaternary Research, 2006, **65**(3): 443–449
- [49] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. 中国科学(B 辑 化学 生命科学 地学), 1992, (12): 1300–1308 [SHI Yafeng, KONG Zhaocheng, WANG Sumin, et al. Climates and Environments of the Holocene Mega thermal Maximum in China[J]. Science in China(Ser. B), 1992, (12): 1300–1308]
- [50] 马舒原, 张虎林. 109 种化学元素浅释[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988: 61–220 [MA Shuyuan, ZHANG Hulin. Preliminary explanation of 109 kinds of chemical elements [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1988: 61–220]
- [51] 米小建, 黄春长, 庞奖励, 等. 宁夏长城塬全新世黄土土壤剖面微量元素动态与成壤变化[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2010, (03): 85–90 [MI Xiaojian, HUANG Chunchang, PANG Jiangli, et al. Trace elements and pedogenic changes in the Holocene Loess soil on the Changchenyuan Loess tableland in Ningxi[J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2010, (03): 85–90]

Geochemical Characteristics of the Mid-Holocene Palaeosol and Mudflow Deposits in the Lajia Ruins of Qinghai Province

ZHENG Zixing¹, HUANG Chunchang^{1*}, ZHAO Hui¹, GUO Yongqiang^{1,2}, ZHOU Yali¹

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: The Lajia Ruins in the Guanting Basin, is a product of the prehistoric Qijia Culture. Archaeological excavations have exposed extraordinary pictures of natural disasters that destroyed their settlements and claimed the lives of many people. However, the causation of the prehistoric disasters is of great controversy. Many studies focus on the understanding of the disaster, but lack of detailed geochemical characteristics. Field investigations were carried out in the Guanting Basin in the upper Yellow River valley. A Mid-Holocene palaeosol sequence was identified in the northwest part of the Lajia Ruins. After detailed field observations, pedostratigraphic subdivisions and descriptions, samples were collected systematically and the chemical composition, grain-size distribution and magnetic susceptibility were measured in the laboratory. All of these indexes show that there are two layers of conglomerated red clay inserted into the soil of the mid-Holocene. They were dated to around 3850 a BP and around 3600 a BP, respectively, using the ¹⁴C method. A comparative study of geochemical features of conglomerated red clay, the eolian soil, and gully deposits at the foot of the Great Red Hills reveals that: (1) Two layers of conglomerated red clay classified as the deposits of dense mudflows in connection with rainstorms over the gully heads. Both of which are silty clay with rolling, wavy and conglomerated structure, very firm, with some stones, earth clods and human remains, including pottery shards, burnt earth, ash and charcoal, etc. (2) In each of the mudflow deposit bed, major elements also exhibit significant change indicative of the multiplied mudflows occurring intermittently. (3) The physico-chemical characteristics of the two red clay layers resemble to those of the Tertiary red clay deposits over the gully heads in the Great Red Hills. Therefore, such a conclusion can be deduced: these two layers of conglomerated red clay were deposited by flash floods and mudflows from the gully heads behind the Lajia Ruins where the high hills consist of the unconsolidated Tertiary red clay formation. These findings are of great importance in understanding prehistorical environmental change, natural disasters and the human impact over the upper Yellow River basin.

Key words: Lajia Ruins; Chernozem soil; red clay; mudflow; chemical composition