

青海官亭盆地史前灾难性地表过程及其影响研究

戎晓庆¹, 庞奖励^{1*}, 黄春长¹, 周亚利¹, 王兆夺¹, 张玉柱², 郭永强³, 赵 辉¹, 炊郁达¹

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710062; 2. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127;
3. 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:通过详细的野外考察,在官亭盆地喇家遗址东侧二方村遗址区域发现完整的土壤沉积物剖面。该剖面记录了全新世土壤土地资源的形成和发展演变,以及灾难性地表过程和人类活动的信息。在深入观察分析的基础上,系统采样并进行多种指标测试分析及年代测定。结果表明:其基本的土壤层序由上到下为:现代表土层(MS)—现代黄土(L₀)—全新世中期黑垆土(S₀)—全新世早期过渡性黄土(L₁)。该序列最显著的特征,是全新世中期黑垆土古土壤被厚达1.2~1.5 m的山洪泥流沉积层分隔为2段,表明在OSL年龄3940~3780 a,对应喇家遗址¹⁴C年龄3850~3600 a BP期间,官亭盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区发生大规模暴雨山洪泥流过程。它们在古洪积扇前沿二级阶地溢出沟槽,扩散覆盖土地表面,形成了山洪泥流层组。而辛店文化早期(3600~3400 a BP)的透镜状灰烬层,则出现在该沉积层组的表面。这表明以农牧混合型土地利用为特色的早期辛店/卡约文化在该区域的形成发展,是以灾难性地表过程沉积的红色砂土和粘土地为基础的。这就与山洪泥流层组之下齐家文化(4150~3850 a BP)时期粟黍类谷物种植农业赖以形成发展的肥沃疏松的黑垆土类土壤形成对照。该研究结果揭示出该区域史前人类原始农业土地利用方式由谷物种植向农牧混合的转变,是在全球性气候恶化背景下,由灾难性地表过程造成的土壤和土地资源的退化所引起的。这对于深入了解青藏高原与黄土高原过渡带环境变化与土地利用方式发展演变的驱动因素具有重要的科学意义。

关键词:史前文化;黑垆土;土地资源;自然灾害;官亭盆地

青海省民和县官亭盆地位于青藏高原与黄土高原过渡带,属于中国北方农牧交错带的一部分,自然环境具有过渡性和敏感性,长期以来形成农牧混合型土地利用方式。盆地内部多民族聚居,人口稠密,史前文化繁荣,在黄河二三级阶地前沿地带,分布有众多史前文化遗址,包括仰韶晚期文化(5.5~5.0 ka BP)、马家窑文化(5.3~4.0 ka BP)、齐家文化(4.2~3.6 ka BP)、辛店/卡约文化(3.6~2.6 ka BP)^[1-3]。不同文化时期,农业生产经营方式不同,深入了解官亭盆地黄河北岸二级阶地所在区域史前人类土地利用方式由谷物种植向农牧混合转变的驱动因素,对于进一步研究青藏高原东北边缘环境变化与

土地利用方式的发展演变具有重要的科学意义。

官亭盆地黄河北岸二级阶地古洪积扇前沿喇家遗址—二方村遗址区域在齐家文化时期(4150~3850 a BP),农业生产经营方式主要是以粟黍类谷物种植为主,大约3600 a BP前后,齐家文化衰落,该区域土地利用方式发生重大转变,出现了以放牧为主、青稞大麦类种植为辅的卡约文化,及与其同时期发展起来,以粟黍类种植为主、放牧为辅的辛店文化(3600~2600 a BP)。究竟是什么因素导致了该区域史前土地利用和农业生产经营方式的变化?前人的观点不尽相同,主要集中在气候变化、农业的进步等方面。众多学者认为适宜的气候条

收稿日期:2019-06-13;修订日期:2019-09-26。

基金项目:国家自然科学基金项目(41771110,41971116,41801060)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41771110, 41971116 and 41801060.]

第一作者简介:戎晓庆(1993—),女,山西忻州人,硕士生,主要从事全球变化与人地关系演变等研究。

E-mail: xiaoqing_rong816@163.com

*通信作者简介:庞奖励(1963—),男,陕西西安人,教授,主要从事资源开发与环境演变等研究。E-mail: jlpang@snnu.edu.cn

引用格式:戎晓庆,庞奖励,黄春长,等. 青海官亭盆地史前灾难性地表过程及其影响研究[J]. 地理科学进展, 2020, 39(8): 1319-1332. [Rong Xiaoqing, Pang Jiangli, Huang Chunchang, et al. Prehistoric catastrophic surface processes and their impacts in the Guanting Basin, Qinghai Province. Progress in Geography, 2020, 39(8): 1319-1332.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.08.007

件会推动文化的繁荣,气候条件的恶化往往会导致文明的衰退。有学者对于青海东部地区的研究,认为在5830~4900 a BP,气候湿润,马家窑文化繁荣,但随着气候干旱化,马家窑文化向东退缩^[4]。也有学者综合分析了甘青地区的考古资料、孢粉和古土壤研究成果,发现在4 ka BP前气候温暖湿润,以种植农业为主的马家窑文化广泛分布,之后由于气候恶化,齐家文化替代了马家窑文化^[5]。3.6 ka BP前后,干冷气候趋势稳定,适应于干旱环境条件的卡约文化和辛店文化发展起来^[6]。还有学者认为齐家文化早期,半干旱的气候促进了粟黍农业的发展,而晚期环境恶化幅度超过农业社会承受极限,齐家文化最终走向衰落^[7]。还有学者通过对青藏高原东北边缘史前聚落的时空演变及其影响因素的研究,认为农业的强化是史前聚落扩散及其农业土地利用方式发生转变的重要动力^[3,8-11]。这些观点主要侧重于对史前环境变化以及人地关系演变的宏观分析,而对于具体土壤剖面所体现的史前农业生产经营方式的重大转变问题,目前鲜有研究。

本课题组在青藏高原东北边缘官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿二级阶地喇家遗址—喇嘛峰—二方村遗址区域开展了广泛而细致的野外调查和研究。发现黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地区域史前文化繁荣,但史前人类长期的乱砍滥伐、陶器烧制,导致其生存环境严重破坏,在全新世中晚期气候恶化背景下,3850 a BP前后,该区域暴发大地震并伴随着大规模暴雨山洪泥石流灾害,使得来自盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区大规模的山洪泥石流溢出沟槽,扩散到洪积扇前沿黄河二级阶地面,淹没农田和聚落,毁灭了齐家文化聚落^[12-16]。也就是说,在气候恶化的背景之下,不合理的人类活动造成的生态失衡以及突发性的灾害,也是导致史前大型聚落毁灭或废弃的重要因素,深刻影响着史前文化及其土地利用方式的转型。课题组前期的工作主要是在喇家遗址所在区域,建立了基本土壤沉积物地层序列和年代框架,并明确界定了遗址内齐家文化聚落毁灭年代、灾难成因及其发生机制。本文则重点研究岗沟以东喇嘛峰—二方村遗址区域,在土壤沉积物地层序列和年代框架的基础上,界定出在全新世中晚期官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地二方村遗址区域暴发的灾害性地表过程,深入论证官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地喇家遗址—二方村遗址区域在全球性气

候恶化背景下发生的灾害性地表过程,并分析群发性灾害所导致的土壤和土地资源退化及其对齐家文化粟黍类谷物种植的衰落、辛店/卡约文化农牧混合型土地利用方式兴起的影响。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

官亭盆地地处青藏高原东北边缘和黄土高原西部的交界处,即中国第二与第三级地形阶梯过渡地带,盆地内部海拔介于1760~1860 m。它是一个相对封闭的近似三角形的小盆地,其北面有拉脊山,南面是积石山,西有积石峡,东有寺沟峡,黄河自西向东穿过盆地,且在黄河两岸发育了多级不对称河流阶地。在官亭盆地周边大面积出露半固结、易于风化的第三系红色泥岩、砂岩和砾岩等,盆地众多支流沟谷将大量的红色粘土、砂土输送到盆地沉积下来,在沟口也形成了多级洪积扇,黄河阶地面被分割,地表崎岖。盆地构造运动活跃,地震与山洪、泥石流等灾害多发^[17-18]。气候温和,年均气温8~9℃,年降水量250~300 mm。官亭盆地与周边山地形成明显高差,强对流天气在夏季频繁发生,多高强度、短时段、局部性的暴雨天气,这也是盆地经常发生山洪、泥石流、泥石流的重要因素^[19-21]。盆地内巨大的古洪积扇和阶地面地势平坦,适宜人类居住,人口稠密,有汉族、回族、撒拉族、保安族等居住生活。在黄河第二、第三级阶地前沿地带,考古调查发现有大约50处新石器时代—青铜时代的古遗址,包括仰韶晚期文化(5.5~5.0 ka BP)、马家窑文化(5.3~4.0 ka BP)、齐家文化(4.2~3.6 ka BP)、卡约文化以及与之同时代的辛店文化(3.6~2.6 ka BP)类型^[2-3,22]。

1.2 研究材料和研究方法

二方村辛店文化遗址剖面(35°51'42"N、102°49'11"E)位于官亭盆地黄河北岸巨大洪积扇前沿黄河第二级阶地表面(图1)。它是由源自于洪积扇区的沟槽切割地面而暴露出来的完整的全新世土壤沉积物剖面。根据我们对于区域地貌特征、土壤学与沉积学宏观特征观察,确认其风成黄土和古土壤为原生沉积物,受到次生地表过程与人类活动扰动影响很少。整个剖面厚度为4.2 m,层次清晰,界限明确,在古土壤层之中夹有厚达1.2~1.5 m的山洪泥石流沉积物。断断续续出现的辛店文化透镜状灰土层,恰好叠覆在山洪泥石流沉积层组的表面,其质地

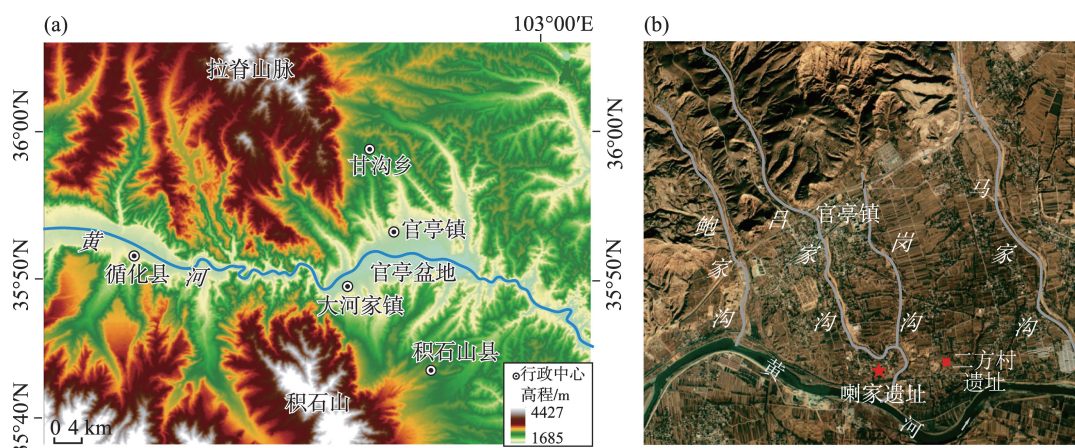


图1 黄河上游官亭盆地位置(a)和二方村辛店文化遗址研究地点位置(b)

Fig.1 Location of the Guanting Basin in the upper reaches of the Yellow River (a) and location of the study site in the Erfangcun Ruins of the Xindian culture (b)

轻而细腻,含有木炭屑和个别破碎陶片(图2)。首先是根据剖面土壤沉积物野外宏观特征进行地层划分,并结合其理化指标对地层划分进行校正,最终准确界定了地层界限(表1)。

通过对二方村遗址剖面(EFC)的野外观察,发现不同土壤与沉积物层次颜色、结构构造等野外宏观特征区别明显。在清理掉表面较为松散的风化层之后,从地表向下以每4 cm为单位连续采样,共采得沉积物样品107个,并且采集了关键性层位的OSL测年样品。将样品自然风干,对其理化指标进行测试分析。土壤沉积物颜色根据《中国标准土壤色卡》描述。磁化率采用英国Bartington公司生产的MS-2B型磁化率仪测量。粒度采用英国Malvern公司生产的Mastersize-2000型激光粒度仪测量,称取0.8 g样品,用10%的HCl和10%的H₂O₂去除碳酸盐和有机质,加入30%六偏磷酸钠用超声波震荡使其均匀分散,最后上机测试。化学元素采用德国Bruker公司生产的S8Tiger型X射线荧光光谱仪测定,取4 g研磨至200目以下的风干样品,加入硼酸,在YY-60型压样机上压片,在荧光光谱仪上测定。释光年代样品中未曝光部分经HCl(10%)和H₂O₂(30%)溶液分别去除碳酸盐和有机质,并使用筛分法得到90~125 μm的粗颗粒,用HF溶液(20%)进行溶蚀,再用适量HCl溶液(10%)去除溶蚀过程产生的氟化物。经过IR检验来确保长石信号可以忽略不计,最终等效剂量在陕西师范大学光释光断代实验室Risø-TL/OSL DA-20型全自动释光仪上测试完成。OSL样品的U、Th、K含量是由中国原子能研

究所通过中子活化法测定完成。宇宙射线对剂量率的影响是依据样品所在位置的经纬度、海拔高度、埋藏深度和样品密度等计算获得^[23]。含水量在实验室实测含水量基础上,结合青海地区相关研究结果进行校正获得。样品OSL年龄采用DRACv1.2在线软件计算获得(表2)^[24]。根据光释光(OSL)测年结果、考古学年代结果,并与官亭盆地喇家遗址剖面年代序列对比,最终确定了EFC剖面的年代框架及环境事件和人类活动的具体发生年代。

1.3 土壤地层年代

在二方村遗址剖面(EFC)土壤地层序列中,全新世中期黑垆土古土壤被厚达1.2~1.5 m的红色砂土与粘土层组分为上下2段,其中黑垆土古土壤上段(S_{0上})覆盖了辛店文化灰烬层(ASL)。该层段古土壤的底部OSL年龄为3350±230 a,辛店文化灰烬层(ASL)底部的OSL年龄为3780±170 a,黑垆土古土壤下段(S_{0下})顶部OSL年龄为3940±200 a。通过将该剖面OSL测年结果与岗沟西岸喇家遗址剖面(LJYZ)的土壤地层层序和年代框架对比^[12,16],最终确定了二方村遗址剖面基本的年代框架,并且确认岗沟东岸区域二方村遗址山洪泥石流盛行期的OSL年龄介于3940~3780 a。这就与喇家遗址的群发性灾害暴发时间(3850~3600 a BP)基本相同。同时确定了该土壤地层剖面的透镜状灰烬层(ASL)中部的OSL年龄为3390±160 a,是辛店文化早期(3600~3400 a BP)人类在该区域生活用火的残留物质。这表明在大地震与暴雨山洪泥石流群发性灾难结束之后,早期辛店文化(3600~3400 a BP)人群移居该



图2 黄河第二级阶地辛店文化遗址区域土壤土地景观(a)和二方村遗址土壤沉积物地层剖面(b)
Fig.2 Soil landscape of Xindian cultural area on the second terrace of the Yellow River (a)
and the soil profile of the Erfangcun site (b)

地。还证明了在群发性灾难结束后,该区域再未发生大规模山洪泥石流溢出沟槽、扩散到黄河二级阶地面成灾的现象。因此大范围的沙尘暴过程才能够在黄河二级阶地稳定堆积形成黑垆土类土壤以及近代黄土和表土层。

2 结果分析

2.1 土壤剖面磁化率分析

磁化率与风化成壤过程中形成的次生铁磁性矿物密切相关,因而常被用作反映沉积物风化成壤状况的指标^[26-27]。二方村遗址剖面全新世早期过渡性黄土(L₁)与全新世晚期风成黄土(L₀),磁化率均值

分别为 39.57×10^{-8} 、 $47.18 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,全新世中期黑垆土古土壤(S_{0上}、S_{0下})磁化率分别介于 34.00×10^{-8} ~ 49.33×10^{-8} 、 39.33×10^{-8} ~ $52.33 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (图3)。可见,磁化率数值变化基本规律与黄土高原西部区域对应层位相符,全新世大暖期形成的黑垆土古土壤(S_{0下})磁化率值高于全新世早期风成黄土,全新世晚期风成黄土磁化率与下段黑垆土古土壤数值接近。现代表土(MS)磁化率均值为 $41.13 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,磁化率值较高。在整个土壤地层序列中,覆盖全新世中期下段黑垆土古土壤的山洪泥石流层组的磁化率变化特征突变明显:其中山洪砂土沉积层(FFD₂、FFD₃)磁化率均值分别为 27.58×10^{-8} 、 $25.88 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,由于山洪沉积速度快,尚未受到风化成壤

表1 官亭盆地二方村遗址土壤剖面地层划分和描述

Tab.1 Pedo-stratigraphic subdivision and descriptions in the Erfangcun soil profile of the Guanting Basin		
地层	深度/cm	土壤学和沉积学特征描述
现代耕作土壤(MS)	0~50	浊棕色(7.5YR6/3),粉砂质地,团粒构造,疏松多孔,多蚯蚓孔和粪团,多植物根系
全新世晚期风成黄土(L ₀)	50~100	浊橙色(7.5YR6/4),粗粉砂质地,团块构造,疏松多孔,少量蚯蚓孔和粪团,受到一定程度的成壤改造
全新世中期黑垆土上段(S _{0上})	100~180	浊棕色(5YR5/3),粉砂质地,团粒构造,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,为发育成熟度很高的黑垆土
灰烬层(ASL)	180~210	棕灰色(5YR6/1),透镜状分布,轻盈细腻,粉砂质地,团块构造,松散易碎,灰烬成分为主,多木炭屑,含有个别破碎陶片,属于辛店文化
山洪砂土沉积层(FFD ₃)	210~240	橙色(2.5YR6/6),细砂质地,断断续续的透镜状层,局部含有细小砾石,向沟坡上方尖灭,追索其物源为盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区
山洪泥流沉积层(RC)	240~325	上部橙色(2.5YR6/6),中下部亮红棕色(2.5YR5/6),粘土质地,棱块状构造,混杂有砂团和石子,显示出粘稠状态流动的内部构造,随微地形变化而波状起伏,厚度变化在40~200 cm之间,追索其物源为盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区
山洪砂土层(FFD ₂)	325~340	橙色(2.5YR6/6),细砂质地,断断续续的透镜状层,向沟坡上方尖灭,追索其物源为盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区
全新世中期黑垆土下段(S _{0下})	340~380	灰棕色(5YR6/2),粉砂质地,团粒构造,比较疏松,下部结构面和孔隙皆有白色可溶盐沉淀,为发育成熟度很高的黑垆土,为马家窑文化—齐家文化时期的耕作土壤
全新世早期风成黄土过渡层(L ₁)	380~410	过渡层(L ₁),淡红灰色(2.5YR7/2),粗粉砂质地,块状构造,比较疏松,下部山洪砂土成分增多
沟道山洪砂土层(FFD ₁)	410~?	淡红灰色(2.5YR7/2),细砂质地,块状构造,比较疏松,来自于北部晚第三系红层丘陵沟壑区,山洪砂土性质显著,下部未见底

表2 官亭盆地二方村遗址土壤剖面光释光测年数据^[25]

Tab.2 Optically-stimulated luminescence (OSL) dating results of the samples from the Erfangcun soil profile of the Guanting Basin ^[25]								
样品编号	深度/cm	U/(10 ⁻³ g·kg ⁻¹)	Th/(10 ⁻³ g·kg ⁻¹)	K/(g·kg ⁻¹)	含水量/%	环境剂量率Dy/(Gy/ka)	等效剂量De/(Gy)	年代/a
EFC-01	45~50	2.49±0.10	9.54±0.29	18.7±0.6	20±3	2.72±0.09	0.51±0.13	180±50
EFC-02	95~100	2.28±0.09	9.80±0.29	18.9±0.6	18±3	2.74±0.09	1.41±0.20	500±70
EFC-03	175~180	2.28±0.09	9.98±0.30	18.2±0.6	12±3	2.90±0.08	9.74±0.85	3350±230
EFC-04	195~200	2.17±0.09	9.68±0.29	20.6±0.6	20±3	2.86±0.08	9.24±0.37	3390±160
EFC-05	210~215	1.94±0.08	8.64±0.27	16.6±0.5	12±3	2.60±0.07	9.82±0.34	3780±170
EFC-06	340~345	3.06±0.12	9.60±0.29	18.9±0.6	10±3	3.13±0.09	12.33±0.52	3940±200

过程的影响,故磁化率低,山洪砂土层(FFD₃)上部磁化率值较下部高,介于 $38.00\times10^{-8}\sim55.33\times10^{-8}\text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$,这可能受到辛店文化时期人类活动影响;红色粘土质泥流沉积层(RC)磁化率最低,均值为 $22.87\times10^{-8}\text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$,这主要继承其物源区即盆地北侧第三系红层丘陵区红色粘土的性质。叠覆在山洪泥流层组表面的辛店文化灰烬层(ASL)的磁化率最高,介于 $71\times10^{-8}\sim92\times10^{-8}\text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$,这是人类生活用火燃烧造成的结果。

2.2 土壤剖面粒度分析

土壤质地用粒度及其分布特征等指标来衡量。粒度大小及其分布决定着土壤的通气性、透水性、蓄水性、保肥性、供肥性、保温性和土壤耕作性能等。二方村遗址剖面全新世早期过渡性黄土(L₁)属于砂质黄土,砂级(>50 μm)颗粒含量均值为

35.47%,受到下部山洪砂土中粗颗粒混入的影响,导致其砂粒含量增多到39.03%,而全新世晚期风成黄土(L₀)中粗粉砂含量为47.61%。因此,该剖面的风成黄土属于砂质黄土或者粉砂质黄土。全新世黑垆土古土壤(S_{0上}、S_{0下})和现代表土(MS)的粒度成分主要以粗粉砂为主,且粗粉砂含量均值分别为40.75%、45.74%、41.9%。山洪砂土成分混杂,砂级(>50 μm)颗粒含量变化幅度大,分别介于41.20%~45.64%(FFD₁)、14.16%~44.59%(FFD₂)、20.51%~36.49%(FFD₃)。红色泥流沉积层(RC)中粘粒(<5 μm)和细粉砂(5~10 μm)之和占49.21%,属于粘土质细粉砂质地。辛店文化灰烬层(ASL)粒度组分以粗粉砂为主,含量为54.14%。可见,山洪砂土和泥流沉积物的粒度组分与黑垆土有着显著的区别。

粘粒/粉砂值与粘粒(<5 μm)、磁化率、细粉砂

(5~10 μm)含量具有相似的曲线形态,与砂粒(>50 μm)含量具有相反的曲线形态(图3)。风成黄土(L_t 、 L_0)的粘粒/粉砂值分别为0.31、0.25,过渡性黄土(L_i)粘粒/粉砂曲线呈明显过渡特征。黑垆土古土壤($S_{0上}$ 、 $S_{0下}$)粘粒/粉砂值介于0.18~0.68,不同深度数值差异较大。下段黑垆土古土壤($S_{0下}$)波动明显,比值介于0.18~0.36。现代土壤(MS)粘粒/粉砂值为0.40,由于人类耕作等活动,自地表向下,粘粒/粉砂值减小。山洪砂土层(FFD)粘粒/粉砂值介于0.27~0.57,均值分别为0.45(FFD₁)、0.44(FFD₂)、0.39(FFD₃)。泥流沉积层(RC)粘粒/粉砂值介于0.19~0.51,均值为0.35,总体曲线波动较大。辛店文化灰烬层(ASL)粘粒/粉砂值为整个剖面最低,均值仅为0.23。

粒度参数是探索土壤沉积物的沉积环境、搬运过程、物源成因的重要指标^[28]。平均粒径(M_z)主要反映土壤颗粒的集中分布状态。风成黄土层(L_t 、 L_0)的平均粒径整体大于黑垆土古土壤层($S_{0上}$ 和 $S_{0下}$),过渡性黄土(L_i)平均粒径介于40.84~53.68 μm ,现代黄土(L_0)介于25.88~51.41 μm ,而2段黑垆土($S_{0上}$ 、 $S_{0下}$)平均粒径分别介于11.65~25.01、30.78~48.18 μm , $S_{0下}$ 中上部受山洪沉积层粗颗粒的混入,平均粒径增大(40~48 μm)。现代表土(MS)的平均粒径均值为29.86 μm 。3层山洪砂土(FFD₁、FFD₂、FFD₃)平

均粒径最大,分别为80.92、55.48、40.57 μm ,泥流沉积层(RC)平均粒径仅为8.71 μm 。辛店文化灰烬层(ASL)平均粒径为24.43 μm 。由此可见,山洪砂土平均粒径大于土壤层和泥流沉积层。标准偏差和分选系数表示土壤颗粒大小的均匀程度。由图4可知,风成黄土层(L_0 、 L_t)的标准偏差介于1.69~2.43,均值为2,分选系数介于1.14~1.79,均值为1.15。古土壤层($S_{0上}$ 和 $S_{0下}$)标准偏差介于1.70~2.10,均值为1.96,分选系数介于1.14~1.79,均值为1.34。现代表土(MS)的标准偏差介于1.90~2.35,均值为2.14。山洪砂土(FFD₁、FFD₂、FFD₃)的标准偏差介于1.74~2.77,均值为2.35,分选系数介于1.48~2.24。泥流沉积层(RC)标准偏差为1.61,分选系数为1.05。辛店文化灰烬层标准偏差均值为1.69,分选系数为1.05。综上,山洪砂土层分选最差,辛店文化灰烬层分选最好,黄土古土壤层分选居中。

就二方村遗址剖面(EFC)关键层位的粒度自然频率分布曲线来看,不同类型土壤沉积物的自然频率分布曲线形态各异(图5)。黑垆土古土壤层(S_0)峰态中等,自然频率分布曲线呈明显的双峰,主峰在30~40 μm 之间,在10 μm 左右出现次一级峰,细尾明显。山洪砂土(FFD)曲线整体正偏,多峰且峰态宽平到中等,分选差,在砂级区间内出现峰值。泥流沉积层(RC)自然频率分布曲线呈单峰,峰态中

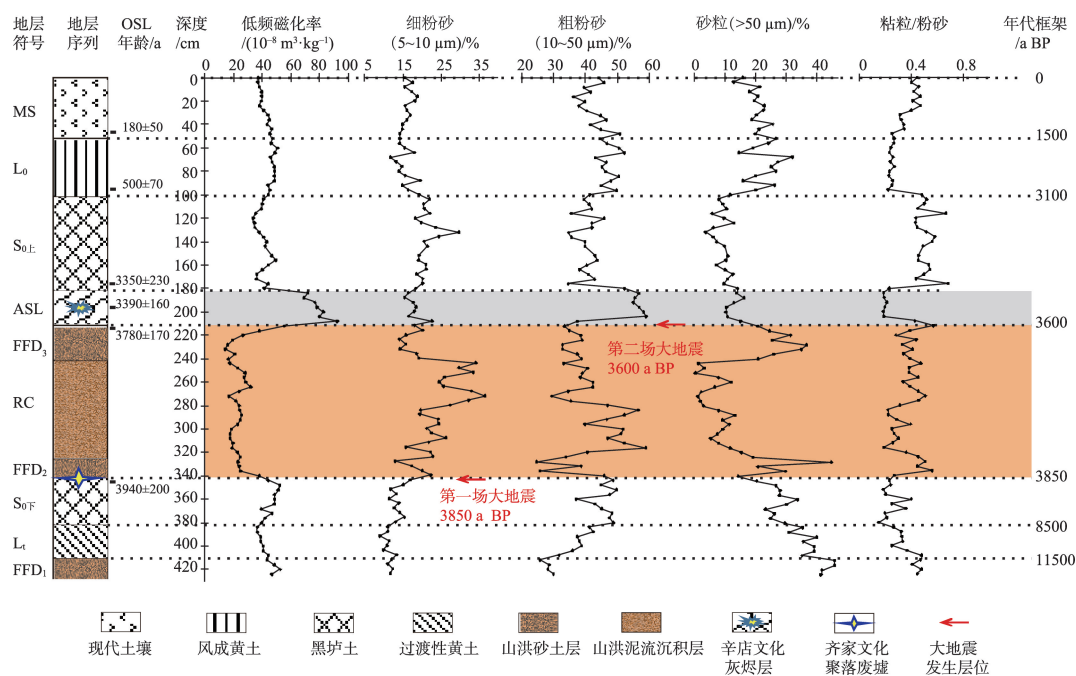


图3 官亭盆地二方村遗址土壤剖面磁化率和粒度成分变化曲线

Fig.3 Magnetic susceptibility and particle size distribution in the Erfangcun soil profile of the Guanting Basin

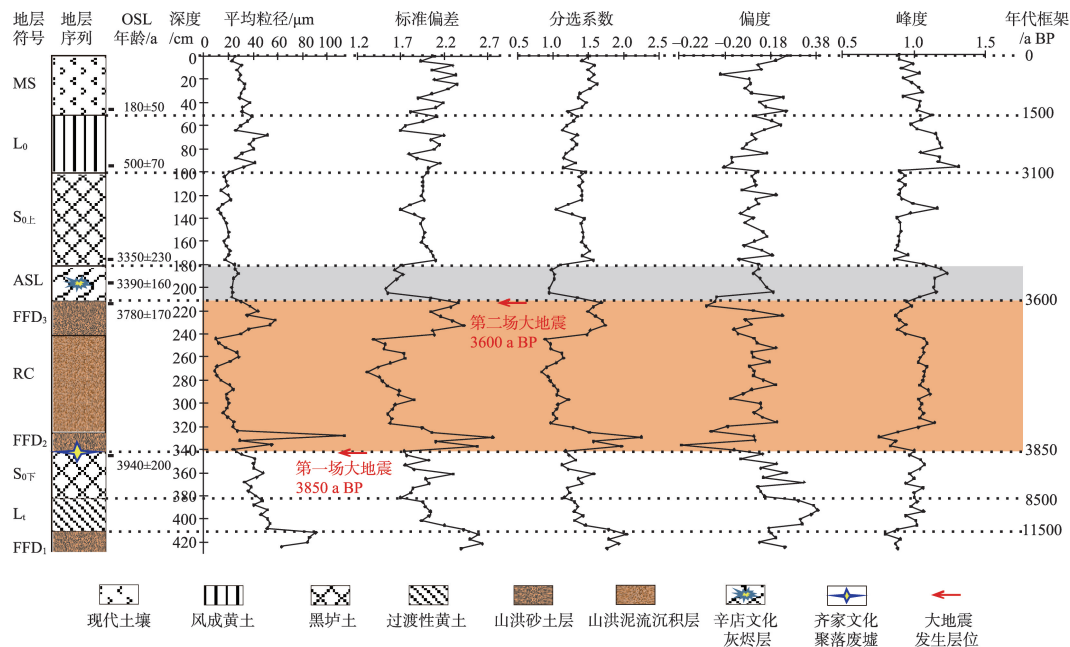


图4 官亭盆地二方村遗址土壤剖面粒度参数变化曲线
Fig.4 Grain size parameter in the Erfangcun soil profile of the Guanting Basin

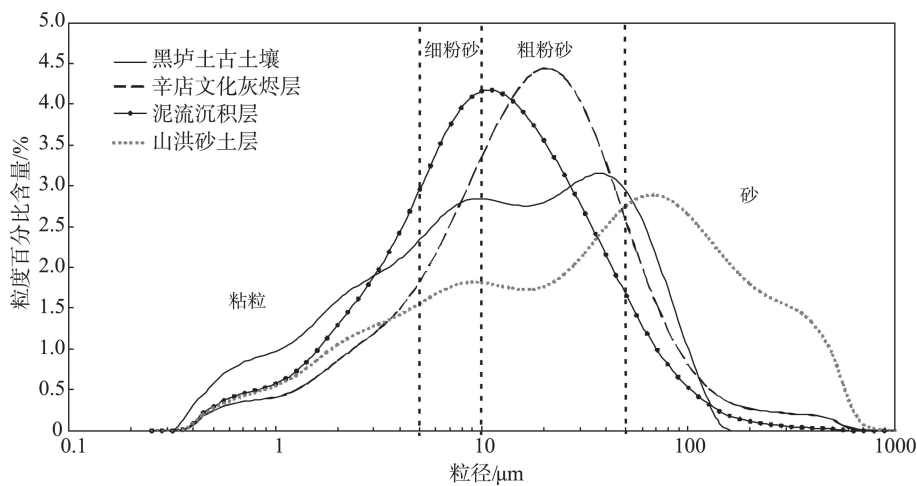


图5 官亭盆地二方村遗址土壤剖面关键层位粒度自然分布频率曲线
Fig.5 Particle size distribution frequency curves of the soil and sediments in the Erfangcun soil profile of the Guanting Basin

等,峰值出现在10 μm左右,呈左偏态分布;辛店文化灰土层(ASL)曲线接近正态分布,分选性好,呈单峰,峰值出现在20 μm左右。这就显著区别于其他不同性质和成因的土壤和沉积物。

2.3 土壤剖面元素分析

土壤元素含量的变化可以指示其成壤过程中气候和环境的变化^[29]。二方村遗址剖面(EFC)中主要元素含量在山洪泥流层组、辛店文化灰土层和土壤层中差异显著。土壤层中,元素含量随深度变化幅度小,山洪砂土和粘土层中却波动剧烈,且出

现明显的极值。这主要是由于沙尘暴堆积物在其成壤过程中,受外界干扰较小,而山洪泥流沉积物的性质与物源比较复杂,且在其搬运过程中不断有其他地表物质混杂。

从元素含量随土壤剖面深度变化趋势来看(图6),可溶盐类元素如S、Cl、Ca、Br以及重金属元素As、稀土元素La等,含量在风成黄土层(L₁、L₀)与全新世中期黑垆土古土壤(S_{0上}、S_{0下})差异较大。例如:在过渡性黄土(L₁)中,元素S、Cl、La、As的含量均值分别为0.27、0.21、0.031、0.018 g·kg⁻¹,而在晚更新

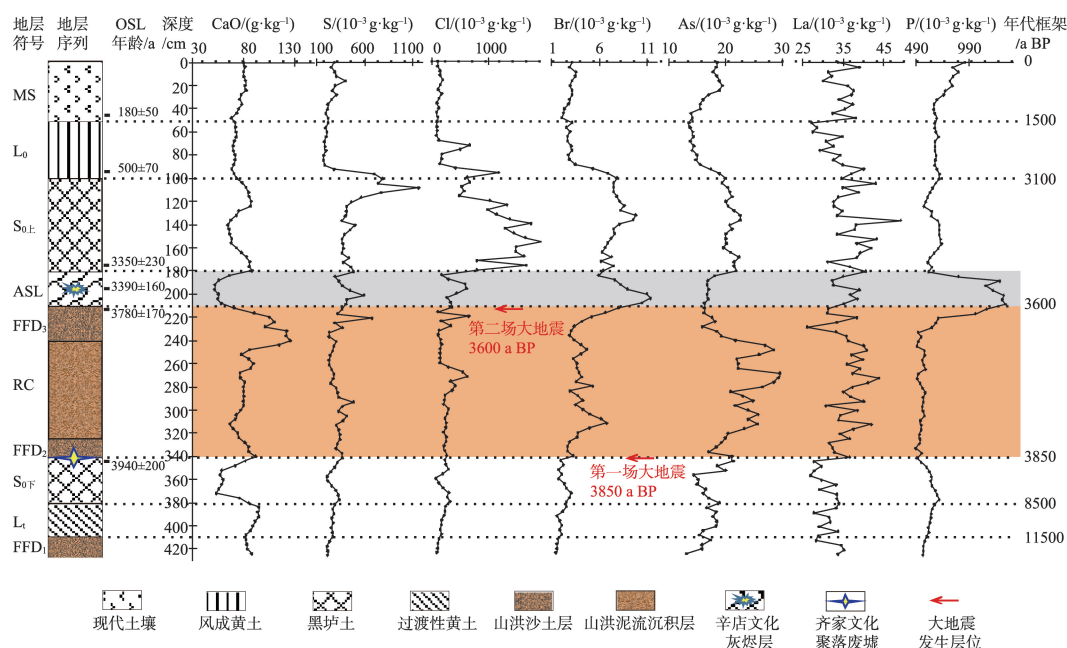


图6 官亭盆地二方村遗址土壤剖面化学元素含量变化曲线

Fig.6 Variation of the chemical elements in the Erfangcun soil profile of the Guanting Basin

世黄土(L_0)中,均值分别为0.24、0.30、0.033、0.015 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,在黑垆土古土壤中($S_{0上}$)中,均值分别为0.51、1.17、0.037、0.021 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,对比可见,上段黑垆土古土壤可溶盐类元素含量较风成黄土高。下段黑垆土古土壤相关元素含量出现异常,可能受到史前人类耕作以及山洪砂砾沉积物混入的影响。由于人类耕作等农业生产活动,导致现代土壤(MS)表层可溶盐类流失,对应曲线呈低值。山洪泥石流沉积层元素含量变化随深度变化曲线波动剧烈,这是山洪泥石流快速运动过程中卷入地表黄土块、石子等地表垃圾造成的。在粘土质泥流沉积层中,稳定性元素 Fe_2O_3 (53.3 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)以及 K_2O (26.2 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)等在泥流沉积层(RC)中含量极高,而山洪砂土层(FFD)则明显不同,其可溶性元素含量更高,例如山洪砂土层(FFD₃)中, CaO、S、Cl、As 元素含量均值分别为100.59、0.35、0.25、0.018 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。辛店文化灰土层(ASL)最为显著的特征是元素P呈现出异常高值(1.1~1.3 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),表明该层主要是由人类生活用火燃烧草木有机质而残留的物质。

3 讨论

3.1 土壤地层层序与沉积物性质特征

二方村遗址剖面(EFC)土壤沉积物地层序列及其理化分析数据变化规律明确显示出在全新世中

晚期,即OSL年龄3940~3780 a,对应喇家遗址 ^{14}C 年龄3850~3600 a BP期间,官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿二级阶地喇家遗址—二方村遗址区域进入大地震与山洪泥石流灾害盛行期,源自于盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区的山洪泥石流在古洪积扇前沿溢出沟槽,扩散沉积在黄河第二级阶地面。这就使得全新世中期黑垆土过程发育中断,造成了二方村遗址剖面最显著的特征,即全新世中期古土壤黑垆土(S_0)被一组厚达1.2~1.5 m的山洪泥石流沉积物(FFD₂、RC、FFD₃)分隔成为上下2段($S_{0上}$ 、 $S_{0下}$)。二方村遗址剖面的基本土壤沉积物地层序列,由下到上依次是全新世早期过渡性黄土(L_1)—全新世中期黑垆土古土壤(S_0)—全新世晚期现代黄土(L_0)—现代土(MS),符合整个黄土高原地区全新世时期风成黄土古土壤发育规律。

二方村遗址剖面底部为沟道山洪砂土层(FFD₁),呈现淡红灰色,较为疏松,成分混杂,含有砂砾,与盆地北部第三系红层丘陵沟壑区和古洪积扇区的松散沉积物相同,是晚更新世末期暴雨山洪暴发时携带沟谷沉积物迅速堆积而成。进入全新世以来,沙尘暴稳定沉积,形成具有微弱成壤的过渡性黄土(L_1)。全新世中期温暖湿润条件之下形成的黑垆土古土壤($S_{0下}$)覆盖其上,呈灰棕色,特别是该沉积层的中上部,由于其成壤过程中受到齐家文化时期人类耕作扰动的影响,土壤团粒—团块构造极

其发育,疏松多孔,有机质丰富,生物活动旺盛,在结构面有次生的白色可溶盐粉霜沉淀。综合喇家遗址—二方村遗址区域多个土壤沉积剖面分析结果,其中,位于上喇家村南喇家遗址北部的上喇家剖面在全新世中期下段黑垆土古土壤沉积层,粘土/粉砂值远高于下部风成黄土,且磁化率均值为整个剖面最高^[30]。从喇家遗址土壤沉积剖面的理化指标来看,下段黑垆土中上部磁化率值高于 $60 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,粘粒含量高,根据元素化学指标,认为下段黑垆土形成时期,即全新世大暖期,风化成壤作用强烈,黑垆土发育程度很高^[16,31]。疏松肥沃的黑垆土适合于农业开垦和谷物种植,黄土高原其他区域从仰韶文化到龙山文化就是在这样的土壤资源上形成和发展。

进入全新世中晚期,青藏高原东北边缘气候恶化,伴随着多场大地震,暴雨山洪泥石流灾害频发,山洪泥石流沿着沟谷在古洪积扇前沿溢出沟槽扩散到黄河二级阶地面沉积,全新世中期黑垆土发育中断,先后沉积了山洪砂土层(FFD₂)、泥流沉积层(RC)、山洪泥砂沉积层(FFD₃)。山洪砂土(FFD₂、FFD₃)砂粒含量高,为细砂质地,呈透镜状,向沟坡上方尖灭,局部含有细小砾石,追索其物源为盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区,短时间内快速堆积而成的山洪沉积物磁化率低。而泥流沉积层(RC)则继承了第三系红色粘土的理化性质特征^[32],主要以粘粒和细粉砂为主,由于其经历了第三系时期高强度风化过程,可溶盐类流失殆尽,亚铁磁性的磁赤铁矿被氧化成反铁磁性的赤铁矿,磁性减弱,磁化率降低。同时在风化过程中产生大量粘粒或者胶体物质,其稳定性元素(Fe_2O_3 、 Al_2O_3 等)和重矿物含量值极高,并且吸附着 K_2O 。其质地粘重,干燥时极其坚硬,遇到雨水浸泡则迅速液化重新转变成稀泥状^[31]。这种泥流沉积层厚度沿着沟道随地形发生变化,在运动过程中,卷入地表垃圾和杂物,混杂有黄土团块、砂团和石子等。

在山洪泥石流盛行期结束后,该区域黑垆土古土壤(S_{0+})恢复发育,与此同时,辛店文化早期人群(3600~3400 a BP)移居于此,其生活用火过程残留物质形成厚度达30 cm的透镜状灰烬层,叠覆在山洪泥石流沉积层组表面。这种灰烬层呈棕灰色且质轻细腻,结构松散,含有木炭屑和个别破碎陶片。沉积学理化分析数据表明,粒度组分主要以粗粉砂(10~50 μm)为主,自然频率分布曲线为明显的双峰

形态,与黄土高原地区古土壤粒度特征相近,但是该时期处于全新世大暖期结束之际,沙尘暴堆积减缓,成壤强度与马家窑—齐家文化时期的黑垆土相比,已经大大减弱,根据元素指标结果,土壤沉积物中可溶盐类元素(S、Cl、Ca、Br、Na等)含量高,表明该时期气候向着干旱化发展,由于降水量减少,土壤水分含量低,大量盐分积累。这也进一步印证了前人对青藏高原辛店/卡约文化时期气候恶化的研究^[3,9-10]。进入全新世晚期,沙尘暴稳定堆积,形成全新世晚期风成黄土(L_0),其颜色为浊橙色,粗粉砂质地,有微弱成壤。最上层为表土层(MS),浊棕色,粉砂质地,是历史时期以来人类农业耕垦影响之下形成的现代土壤。

从整个剖面来看,叠覆在山洪砂土和泥流粘土层组表面的辛店文化透镜状灰土层很突出,是由人类生活用火燃烧草木有机质等的残留物,导致沉积物磁化率极高^[33]。从粒度组分来看,粗粉砂(10~50 μm)含量高,粘粒/粉砂值低,质地均匀,粒度自然频率分布曲线接近正态分布,标准偏差和分选系数值低,分选很好。大部分元素含量与古土壤接近,而元素P出现异常高值。这些都表明它是辛店文化时期人类活动的产物。作为史前人类生活的残留物,它颜色、结构构造和理化性质与风成黄土土壤有着显著的区别,也与代表着灾难性地表过程的山洪泥石流沉积物有着明显的区别。

3.2 群发性灾难对史前农业的影响

官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地喇家遗址—二方村遗址区域,土地平坦宽广,背山面水,土壤土地资源客观条件较好。在山洪泥石流盛行期(3850~3600 a BP)之前,这里的土地被齐家文化(4150~3850 a BP)人群占据。这些人群以粟黍类谷物种植农业为基础,充分利用了肥沃深厚的黑垆土(S_{0+})土壤与土地资源,以及官亭盆地良好的水热条件,发展了原始农业经济,并且在这里发展建设形成了一个以喇家遗址为代表的大型村落^[34-36]。考古调查与发掘研究表明,喇家遗址齐家文化房屋与窑洞建筑规模大,遗址区出土了大量农用生产工具和动植物遗存(黍、粟、猪、狗、羊等),表明齐家文化时期古人类从事粟黍类谷物种植为主、畜牧和渔猎为辅的农业生产经营方式^[2,37-38]。但是,这里毕竟是地处青藏高原东北边缘环境敏感带,属于半干旱区,自然环境脆弱。从马家窑文化到齐家文化时期人类长期的乱砍滥伐、陶器烧制等活动,使盆地及

其周边第三系红层丘陵沟壑区地表植被严重破坏,水土流失加剧,土地资源开始退化,人地关系也必然的趋于恶化。

与此同时,从距今4000 a前后开始,发生了全球性气候恶化,尤其是干旱半干旱地区,气候干旱化变得日益突出^[39-41]。青藏高原东北部地区的气候恶化也有多方面的记录,例如对敦德冰芯、青海湖沉积物和若尔盖盆地沼泽泥炭沉积物的研究等,都记录了气候恶化过程^[42-44]。位于青藏高原东北边缘的官亭盆地,其自然环境和资源以及史前人类的生产生活和经济社会发展也必然会受到巨大的冲击和影响。在这种全球变化背景与人类活动影响的下,官亭盆地出现了一个大地震与暴雨山洪泥石流灾害盛行期。

这个由2场多次大地震与频繁发生的暴雨山洪泥石流构成的灾害群发期,在二方村遗址剖面的OSL年龄为3940~3780 a。因此可以判断其与西侧喇家遗址¹⁴C年龄3850~3600 a BP期间的群发性灾害同时发生。只不过是二方村遗址区域的山洪泥石流来源于东部的马家沟,而喇家遗址的山洪泥石流来源于西部的吕家沟和岗沟。根据调查结果,盆地内2场多次大地震分别发生在3850 a BP与3600 a BP^[16]。在此期间强烈暴雨和山洪泥石流从盆地北侧吕家沟、岗沟、马家沟流下来,穿过古洪积扇区域,在其前沿位置溢出沟槽,大范围扩散淹埋破坏农田土壤,并且摧毁了喇家遗址的齐家文化村落。由于地面塌陷,建筑物倒塌,高强度的暴雨与巨大规模的山洪泥石流,滚滚而来,造成房屋窑洞内人口群体性死亡。位于黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地的齐家文化聚落遭受如此的灭顶之灾,从而被彻底废弃。

这些发生在全球气候恶化背景条件之下的突发性、群发性与灾害性地表过程,对于官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地的土壤土地资源造成了深刻的影响,也导致史前文化、聚落形态和土地利用方式发生了根本性变化。二方村遗址灰烬文化层的测年结果,以及喇家遗址区域的考古发掘结果,表明在这个群发性灾害盛行期结束之后,辛店/卡约文化早期(3600~3400 a BP)零散人群占据了黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地。但这时的环境资源条件发生了根本性的变化。一则是全球性气候恶化导致该区域水热资源条件恶化,二则是厚度达1.0~4.0 m的红色砂土与粘土覆盖掩埋了肥沃的黑垆土,地表失去了可耕垦的土壤层。因此占

据了该区域土地的辛店/卡约文化早期人群,不能凭借传统的粟黍类谷物种植求得生存和发展。可知正是在气候恶化和土壤土地资源退化的胁迫之下,辛店/卡约文化早期人群在这里发展形成了放牧与农耕兼作的混合型原始农业文化。在整个研究区域发现的辛店/卡约文化层,皆呈现为断断续续出现的透镜状,厚度仅有10~30 cm,多为生活用火遗留的灰烬灰土层,其中所含陶片数量极少。考古发掘虽然发现个别墓葬,但并无居室遗存发现^[45-46]。这也表明辛店/卡约文化早期聚落规模很小且分散,存在时间也很短,并未形成功能齐全的大型村落。所以,就官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地来看,全球性气候恶化及其造成的大规模灾难性地表过程,导致土壤、土地资源退化,进而促使新石器时代人类主要生业模式从粟黍类谷物种植向农牧混合生产转变。

4 结论

在青藏高原东北边缘与黄土高原过渡地区环境敏感带,史前文化及其原始农业高度发展。前人对于该地区人地关系演变研究,重在气候变化及其影响的分析论证。而本文则从具体的土壤沉积物剖面形成演变及灾害性地表过程对于土壤土地资源的影响入手,深入地揭示出在气候恶化与土壤退化双重因素胁迫之下,官亭盆地史前文化和原始农业土地利用方式的发展演变。

本文研究官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地二方村遗址区完整的土壤剖面,发现其土壤地层层序从地表向下依次是:表土层(MS)→现代黄土(L₀)→全新世中期黑垆土古土壤(S₀)→早全新世过渡性黄土(L₁)→山洪砂土层(FFD₁)。该剖面最显著的特征是全新世中期黑垆土古土壤被厚达1.2~1.5 m的红色砂土与粘土层组(FFD₂、RC、FFD₃)分隔,成为上下2个亚层(S_{0上}和S_{0下})。而早期辛店文化(3600~3400 a BP)人类活动形成的透镜状灰烬层,则处于由山洪泥石流等灾害性地表过程堆积形成的红色砂土与粘土沉积物层面。

深入分析可知,在3850 a BP前,官亭盆地气候温暖湿润,水热条件好,官亭盆地黄河北岸古洪积扇前沿第二级阶地区域黑垆土古土壤下段(S_{0下})发育,土壤肥沃疏松,适宜耕作。在此基础上,齐家文化(4150~3850 a BP)人群的粟黍类种植农业繁荣发

展。在3850 a BP后,受到全球气候恶化的影响,在OSL年龄3940~3780 a,对应喇家遗址¹⁴C年龄3850~3600 a BP期间,该区域大地震与暴雨山洪泥石流灾害频发,来自于盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区的山洪泥石流,在其运动过程中在古洪积扇前沿溢出沟槽,扩散覆盖黄河二级阶地面,摧毁了齐家文化聚落,同时造成了土壤土地资源的破坏退化。山洪泥石流盛行期结束后,早期辛店/卡约文化(3600~3400 a BP)人群占据了这里的土地。但是黑垆土类土壤被深埋地下,地表被山洪砂土和泥流粘土沉积物(FFD₂、RC、FFD₃)覆盖,表土层贫瘠坚硬,无法耕垦。加之气候恶化造成作物生长季节积温不足,水热条件不能满足粟黍类作物生长需求,传统的种植农业难以为继,养殖放牧代之而起。由此在该区域形成了谷物种植与牛羊放牧混合的土地利用方式,持续发展直至现代。

参考文献(References)

- [1] 谢端琚. 甘青地区史前考古 [M]. 北京: 文物出版社, 2002: 111-130. [Xie Duanju. Prehistoric archaeology in Gansu and Qinghai Province. Beijing, China: Cultural Relics Press, 2002: 111-130.]
- [2] 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): 455-461. [Yang Xiaoyan, Xia Zhengkai, Cui Zhijiu, et al. Environmental settings of archaeological sites depositional processes and distribution at Guanting Basin. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(3): 455-461.]
- [3] 崔一付, 刘雨嘉, 马敏敏. 青藏高原东北部官亭盆地新石器—青铜时代聚落时空演变及其影响因素 [J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(2): 152-164. [Cui Yifu, Liu Yujia, Ma Minmin. Spatiotemporal evolution of prehistoric Neolithic-Bronze Age settlements and influencing factors in the Guanting Basin, Northeast Tibetan Plateau. Scientia Sinica Terrae, 2018, 48(2): 152-164.]
- [4] Dong G H, Jia X, An C B, et al. Mid-Holocene climate change and its effect on prehistoric cultural evolution in eastern Qinghai Province, China [J]. Quaternary Research, 2012, 77(1): 23-30.
- [5] 刘峰贵, 侯光良, 张镡锂, 等. 中全新世气候突变对青海东北部史前文化的影响 [J]. 地理学报, 2005, 60(5): 733-741. [Liu Fenggui, Hou Guangliang, Zhang Yili, et al. The impact of abrupt climate change in Mid-Holocene on the prehistoric culture in Northeast Qinghai. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(5): 733-741.]
- [6] 侯光良, 刘峰贵, 刘翠华, 等. 中全新世甘青地区古文化变迁的环境驱动 [J]. 地理学报, 2009, 64(1): 53-58. [Hou Guangliang, Liu Fenggui, Liu Cuihua, et al. Prehistoric cultural transition forced by environmental change in Mid-Holocene in Gansu-Qinghai region. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(1): 53-58.]
- [7] An C B, Feng Z D, Tang L Y. Environmental change and cultural response between 8000 and 4000 cal. yr BP in the western Loess Plateau, Northwest China [J]. Journal of Quaternary Science, 2004, 19(6): 529-535.
- [8] Jia X, Dong G H, Li H, et al. The development of agriculture and its impact on cultural expansion during the late Neolithic in the Western Loess Plateau, China [J]. The Holocene, 2013, 23(1): 85-92.
- [9] Chen F H, Dong G H, Zhang D J, et al. Agriculture facilitated permanent human occupation of the Tibetan Plateau after 3600 BP [J]. Science, 2015, 347: 248-250.
- [10] 张东菊, 董广辉, 王辉, 等. 史前人类向青藏高原扩散的历史过程和可能驱动机制 [J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(8): 1007-1023. [Zhang Dongju, Dong Guanghui, Wang Hui, et al. History and possible mechanisms of prehistoric human migration to the Tibetan Plateau. Scientia Sinica Terrae, 2016, 46(8): 1007-1023.]
- [11] 张山佳, 董广辉. 青藏高原东北部青铜时代中晚期人类对不同海拔环境的适应策略探讨 [J]. 第四纪研究, 2017, 37(4): 696-708. [Zhang Shan-jia, Dong Guanghui. Human adaptation strategies to different altitude environment during mid-late bronze age in northeast tibetan plateau. Quaternary Sciences, 2017, 37(4): 696-708.]
- [12] 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 Chunchang, Pang Jiangli, et al. OSL dating of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the Guanting Basin in the Upper Yellow River Basin. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(5): 626-639.]
- [13] 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, 70(11): 1774-1787. [Zhou Qiang, Zhang Yuzhu. Exploration and analysis of the reasons for pre-historical catastrophes in the Lajia Ruins, Qinghai Province. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(11): 1774-1787.]
- [14] 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, 146: 134-141.
- [15] 郑紫星, 黄春长, 赵辉, 等. 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 [J]. 山地学报, 2018, 36

- (1): 1-12. [Zheng Zixing, Huang Chunchang, Zhao Hui, et al. Geochemical characteristics of the Mid-Holocene Palaeosol and Mudflow Deposits in the Lajia Ruins of Qinghai Province. *Mountain Research*, 2018, 36(1): 1-12.]
- [16] 黄春长, 郭永强, 张玉柱, 等. 青海官亭盆地喇家遗址全新世地层序列与史前灾难研究 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(2): 434-455. [Huang Chunchang, Guo Yongqiang, Zhang Yuzhu, et al. Holocene sedimentary stratigraphy and pre-historical catastrophes over the Lajia Ruins within the Guanting Basin in Qinghai Province of China. *Scientia Sinica Terrae*, 2019, 49(2): 434-455.]
- [17] 袁道阳, 张培震, 刘百箴, 等. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换 [J]. *地质学报*, 2004, 78(2): 270-278. [Yuan Daoyang, Zhang Peizhen, Liu Baichi, et al. Geometrical imagery and tectonic transformation of late quaternary active tectonics in northeastern margin of Qinghai-Xizang Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(2): 270-278.]
- [18] 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(S1): 109-115. [Li Zhimin, Li Yanjing, Tian Qinjian, et al. Study on the relationship between paleoseismic on Laji Mountain fault and catastrophic event on Lajia Shan site. *Journal of Seismological Research*, 2014, 37(S1): 109-115.]
- [19] 马晓萍, 路世贵. 2012年7月29-30日青海省海东地区强降水过程分析 [J]. *北京农业*, 2013(6): 116-117. [Ma Xiaoping, Lu Shigui. Heavy rainfall process in Haidong Region of Qinghai Province in July 29-30, 2012. *Beijing Agriculture*, 2013(6): 116-117.]
- [20] 王志远. 青藏高原东北部一次强对流引发暴雨天气成因分析 [J]. *青海气象*, 2013(2): 2-7. [Wang Zhiyuan. Causes of Heavy Rain Caused by Strong Convection in the Northeast of Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Qinghai Meteorology*, 2013(2): 2-7.]
- [21] 朱艳欣, 桑燕芳. 青藏高原降水季节分配的空间变化特征 [J]. *地理科学进展*, 2018, 37(11): 1533-1544. [Zhu Yanxin, Sang Yanfang. Spatial variability in the seasonal distribution of precipitation on the Tibetan Plateau. *Progress in Geography*, 2018, 37(11): 1533-1544.]
- [22] 朱燕, 侯光良, 兰措卓玛, 等. 基于GIS的青藏高原史前交通路线与分区分析 [J]. *地理科学进展*, 2018, 37(3): 438-449. [Zhu Yan, Hou Guangliang, Lan Cuozhuoma, et al. GIS-based analysis of traffic routes and regional division of the Qinghai-Tibetan Plateau in prehistoric period. *Progress in Geography*, 2018, 37(3): 438-449.]
- [23] Prescott John R, Hutton John T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations [J]. *Radiation Measurements*, 1994, 23(2-3): 497-500.
- [24] Durcan J A, King G E, Duller G A T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating [J]. *Quaternary Geochronology*, 2015, 28: 54-61.
- [25] 陈莹璐, 黄春长, 周亚利, 等. 青海官亭盆地二方村遗址全新世土壤沉积物地层序列与OSL测年研究 [J]. *地质学报*, 2019, 93(11): 2960-2974. [Chen Yinglu, Huang Chunchang, Zhou Yali, et al. Holocene pedo-stratigraphic sequence and OSL chronology of the Erfangcun ruins in the Guanting basin of Qinghai Province. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(11): 2960-2974.]
- [26] Kukla G, Heller F, Ming L X, et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility [J]. *Geology*, 1988, 16(9): 811-814.
- [27] Ao H, Zhang P, Dekkers M J, et al. New magnetochronology of Late Miocene mammal fauna, NE Tibetan Plateau, China: Mammal migration and paleoenvironments [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2016, 434: 220-230.
- [28] An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. Late quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau [J]. *Catena*, 1991, 18(2): 125-132.
- [29] Gallet S, Jahn Bor-ming, Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications [J]. *Chemical Geology*, 1996, 133(1): 67-88.
- [30] 炊郁达, 黄春长, 庞奖励, 等. 青海喇家遗址土壤序列及史前山洪泥石流灾难释光测年研究 [J]. *地理学报*, 2019, 74(11): 2371-2384. [Chui Yuda, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. OSL dating of the pedo-stratigraphic sequence and the prehistoric flash floods and mudflows over the Lajia Ruins of Qinghai Province. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(11): 2371-2384.]
- [31] 张玉柱, 黄春长, 庞奖励, 等. 青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 [J]. *土壤学报*, 2015, 52(5): 1002-1013. [Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia ruins in the Guanting Basin, Minhe Country, Qinghai Province. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(5): 1002-1013.]
- [32] 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. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(5): 995-

1004.]
- [33] 张强, 朱诚, 姜逢清, 等. 重庆巫山张家湾遗址2000年来的环境考古 [J]. 地理学报, 2001, 56(3): 353-362. [Zhang Qiang, Zhu Cheng, Jiang Fengqing, et al. Environmental archaeological exploration in Zhangjiawan Site, Chongqing since 2 ka BP. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 353-362.]
- [34] 叶茂林. 青海民和喇家史前遗址的发掘 [J]. 考古, 2002 (7): 3-5, 97. [Ye Maolin. The excavation of the Lajia site in Minhe, Qinghai. *Archaeology*, 2002(7): 3-5, 97.]
- [35] 安成邦, 冯兆东, 唐领余, 等. 甘肃中部4000年前环境变化与古文化变迁 [J]. 地理学报, 2003, 58(5): 743-748. [An Chengbang, Feng Zhaodong, Tang Lingyu, et al. Environmental changes and cultural transition at 4 cal. ka BP in central Gansu. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 743-748.]
- [36] 于孟洲, 王倩倩, 杜战伟. 喇家遗址齐家文化聚落的考古发现与思考 [J]. 青海社会科学, 2017(3): 199-204. [Yu Mengzhou, Wang Qianqian, Du Zhanwei. Archaeological discoveries and thought on the Qijia cultural settlement in the Lajia ruins. *Qinghai Social Sciences*, 2017 (3): 199-204.]
- [37] 钱耀鹏. 关于喇家聚落的灾难遗迹与广场建筑 [J]. 考古, 2007(5): 57-68. [Qian Yaopeng. About the disaster relics and square buildings of the Lajia settlement. *Archaeology*, 2007(5): 57-68.]
- [38] 贾鑫. 青海省东北部地区新石器—青铜时代文化演化过程与植物遗存研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2012. [Jia Xin. Cultural evolution process and plant remains during Neolithic- Bronze Age in northeast Qinghai Province. Lanzhou, China: Lanzhou University, 2012.]
- [39] Staubwasser M, Sirocko F, Grootes P M, et al. Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability [J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(8): 1425. doi: 10.1029/2002GL016822.
- [40] Davis M E, Thompson L G. An Andean ice-core record of a Middle Holocene mega-drought in North Africa and Asia [J]. *Annals of Glaciology*, 2006, 43: 34-41.
- [41] Marcott S A, Shakun J D, Clark P U, et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11300 years [J]. *Science*, 2013, 339: 1198-1201.
- [42] 姚檀栋, 施雅风, Thompson L G. 祁连山敦德冰芯记录的全新世气候变化 [M]// 施雅风, 孔昭宸. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992: 206-210. [Yao Tandong, Shi Yafeng, Thompson L G. Holocene climate change recorded by Dundebingxin in Qilian Mountain // Shi Yafeng, Kong Zhaochen. The climate and environment of the Holocene Megathermal in China. Beijing, China: China Ocean Press, 1992: 206-210.]
- [43] 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 16 ka 以来青海湖湖相自生碳酸盐沉积记录的古气候 [J]. 高校地质学报, 2003, 9 (1): 38-46. [Liu Xingqi, Shen Ji, Wang Sumin, et al. A 16000-year paleoclimatic record derived from Authigenetic carbonate of lacustrine sediment in Qinghai Lake. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(1): 38-46.]
- [44] 孙晓红, 赵艳, 李泉. 青藏高原东部若尔盖盆地全新世泥炭地发育和植被变化 [J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(9): 1097-1109. [Sun Xiaohong, Zhao Yan, Li Quan. Holocene peatland development and vegetation changes in the Zoige Basin, eastern Tibetan Plateau. *Scientia Sinica Terrae*, 2017, 47(9): 1097-1109.]
- [45] 何克洲. 青海民和县喇家遗址的辛店文化墓葬 [J]. 考古, 2015(3): 115-120. [He Kezhou. Xindian culture burials at Lajia site in Minhe County, Qinghai. *Archaeology*, 2015(3): 115-120.]
- [46] 任瑞波. 论喇家遗址“辛店文化”墓葬的文化归属 [J]. 考古, 2017(5): 114-120. [Ren Ruibo. On the cultural affiliation of the burials of the "Xindian Culture" found at Lajia Site. *Archaeology*, 2017(5): 114-120.]

Prehistoric catastrophic surface processes and their impacts in the Guanting Basin, Qinghai Province

RONG Xiaoqing¹, PANG Jiangli^{1*}, HUANG Chunchang¹, ZHOU Yali¹, WANG Zhaoduo¹,
ZHANG Yuzhu², GUO Yongqiang³, ZHAO Hui¹, CHUI Yuda¹

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

2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

3. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: This study conducted field investigations in the Guanting Basin of the north shore of the Yellow River. A Holocene complete soil profile was identified over the Erfangcun Ruins, which is situated to the east side of the Lajia Ruins and has preserved multiple records of the information of aeolian loess and palaeosol and evolution of land resources, catastrophic surface processes, and human activities during the period of the Xindian culture. Sediment samples were taken from the profile systematically on the basis of field pedo-sedimentological observation. We established the basic pedo-stratigraphic sequence by using optically-stimulated luminescence (OSL) dating and physicochemical indices. The stratigraphic sequence of the Erfangcun profile from the top to the bottom is listed as modern soil (MS)–late Holocene aeolian loess (L_0)–Middle Holocene palaeosol (S_0)–early Holocene transitional aeolian (L_1). The most significant feature of this sequence is that the deposit of flashfloods and mudflows with a thickness of 1.2–1.5 m have split the Chernozem soil into two sublayers, which was the result of the catastrophic land surface processes and the climatic and environment changes. Optically-stimulated luminescence dating results suggest that enormous flashfloods and mudflows burst out during OSL age 3940–3780 a, equivalent to ^{14}C age 3850–3600a BP. They ran over the valley and deposited in the front of the paleo-alluvial-pluvial fans of the second terrace of the Yellow River. The deposit of the flows was covered by the ashes of the Xindian culture (3600–3400 a BP). The barren land formed by the flashfloods and mudflows caused the decline of agriculture and gave birth to stockbreeding. This soil layer is in sharp contrast to the fertile and loose soil during the period of the Qijia culture (4150–3850 a BP). Overall, the results of the study revealed that prehistoric human agricultural land use pattern in the area of the Lajia and Erfangcun Ruins in the Guanting Basin was changed by the degradation of soil caused by the catastrophic floods and climate change. It may have implications for further insights into prehistoric land use and the changes of environment in the transitional area of the Tibet Plateau and the Loess Plateau.

Keywords: prehistoric culture; Ustic Luvisol; land resources; natural disaster; Guanting Basin