

仰韶村遗址文化层土壤微形态研究^①

查理思¹, 吴克宁², 魏洪斌^{3,4*}, 曾佩慧¹, 肖晓薇¹

(1 广东财经大学公共管理学院, 广州 510320; 2 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 3 自然资源部国土整治中心(自然资源部土地科技创新中心), 北京 100035; 4 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘要: 土壤微形态方法已广泛运用在遗址土壤研究中, 可解读其蕴含的古人类活动信息。本研究在仰韶村遗址土壤前期研究基础上, 采集多处文化层以及古土壤层、表土层, 通过比较土壤微形态和理化性质差异, 判别古人类用火和培土行为。结果表明: ①用火影响的土壤基质主要呈红棕色, 其中炭屑散乱分布, 铁质垒结形成物主要呈团块状、碎屑状。细粒质受到火烧作用影响, 经化学反应形成的铁质氧化物覆盖其上, 显示出弱干涉色特征, 多为无分离 b-垒结。②培土影响的土壤中可以识别出人工痕迹, 如平整的孔道和刮擦痕迹, 紧密的不同土壤垒结之间存在清晰平整的界线, 表明土壤被压实。部分细粒质受到人为刮擦作用影响, 呈现条纹状 b-垒结。细粒质与粗粒质除包膜状和桥接状外, 还出现填集状, 这也表明土壤被压实。③发现贝壳和碳化植物等侵入体, 土壤微结构呈现海绵状。总体而言, 土壤的宏观特征和基本理化性状印证了微形态观察结果, 表明该区域土壤与古人类用火和耕作活动相关。

关键词: 土壤微形态; 文化层; 古人类活动

中图分类号: S159 **文献标志码:** A

Soil Micromorphology of Cultural Layers in Yangshao Village Site

ZHA Lisi¹, WU Kening², WEI Hongbin^{3,4*}, ZENG Peihui¹, XIAO Xiaowei¹

(1 School of Public Administration, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou 510320, China; 2 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources (Land Science and Technology Innovation Center), Beijing 100035, China; 4 Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Soil micromorphology method has been widely used in the study of site soil, which can interpret the information of ancient human activities contained in it. Based on the previous study of the soil at Yangshao Village site, this study collected several cultural layers, ancient soil layers and topsoil layers, and identified ancient human behavior of using fire and cultivating soil by comparing the differences in micromorphology and physiochemical properties. The results show that: 1) Soil matrix affected by fire is mainly red-brown, in which the carbon scraps are scattered, and iron barrier formation is mainly in the form of lumps and fragments. Fine particles are affected by fire, and iron oxides formed by chemical reaction cover them, showing weak interference color characteristics. Most of them are non-separated b-barrier. 2) Artificial traces can be identified in the soil affected by soiling, such as flat holes and scratch traces. There is a clear and flat boundary between different soil barriers, indicating the compaction of soil. Some fine grains are affected by artificial scraping, and present striped b-barrier junction. In addition to enveloping and bridging, fine-grained and coarse-grained materials also appear filling, which also indicates the compaction of soil. 3) Invasive bodies such as shells and carbonized plants are found, and the soil microstructure is spongy. In general, the macroscopic characteristics and basic physiochemical properties of the soil confirm the results of micromorphological observation, indicating the fire and farming activities of ancient humans in the area.

Key words: Soil micromorphology; Cultural layer; Paleohuman activities

①基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41907001)资助。

* 通讯作者(289680827@qq.com)

作者简介: 查理思(1988—), 男, 江西庐山人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土壤考古。E-mail: 511611249@qq.com

充分认识遗址土壤形成、埋藏过程中的变化,是解读考古材料与现象的关键。而遗址土壤的构成及其分布状态受到物理、化学、生物因素干扰,会发生不同程度的改变,一般很难或无法通过肉眼识别。遗址中大部分遗存,如植物、动物粪便、灰烬、动物碎骨和矿物颗粒等,由于年代久远或保存环境不利等原因,从宏观视野中消失。但通过土壤微形态学方法可较清晰地观察、检验上述遗存,从而对遗址的形成与变化做出科学判断,得到深刻的认识^[1]。土壤微形态学是借助光学仪器直观观测原状土壤结构和微组构的重要方法,根据对土壤薄片的观察,可以有效还原土壤的机械组成、原始结构、成壤过程中物质淋溶、迁移、转化与淀积过程,对土壤稳定性特征有更强的解释效力^[2]。

仰韶村遗址是中国黄河流域新石器时期遗址,也是仰韶文化命名地。该时期的彩陶制作技艺和原始农业萌发,奠定了中华文明发展的物质基础,其中蕴含的用火和培土活动内容成为解读该时期文化特征的关键。目前已有相关土壤微形态研究,通过研究灰烬层和文化层,观察其中炭屑和红烧土含量、形状及分布等情况,分析古人类用火目的和燃烧物质^[3-6],或观察其中粗细颗粒磨圆度、孔隙大小、微结构等特点,判别古人类农耕活动强度^[7-11]。本研究已在该遗址发现一处文化层,其中发现陶片、石器和碎骨,结合粒度、炭屑、部分孢粉和植硅体分析,该层质地为砂质壤土,其炭屑与禾本科植物孢粉含量高,存在黍、粟

和水稻植硅体^[12-13],这与伊朗一处遗址的古耕层质地和侵入体的描述一致^[14]。因此,本研究以前期研究为基础,对周边多处土壤开展微形态研究,通过对文化层与未受人类活动干扰的古土壤层和表土层,研究古人为扰动特点。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与样品采集

仰韶村遗址位于河南省渑池县城北 7.5 km 仰韶村南的台地上(图 1A),长约 900 m,宽约 300 m。本研究采样区域位于仰韶村安特生路东面缓坡,坡度 5°~8°,南北长约 160 m,东西宽约 80 m。该区域现土地用途为花椒种植园,由于遗址保护管理要求,没有过多人工养护,花椒树生长基本靠自然降水,从现场满地杂草也可判断少有现代人为干扰。根据实地情况,将该区域从南至北划分为 3 个区域:稀疏花椒林地(I)、密集花椒林地(II)、草地(III),于各区域中间位置设置 1~2 处采样点,并在区域交界处采样,同时以南北中轴线上采样点为基准,向东西每隔 20 m 沿线采样。其中,II、III 区域西向,由于 1981 年河南省文物研究所已发掘探明为墓葬区,后经填埋土层已受现代干扰,故 II、III 区域主要向东采样。I 区域中采样点 1、2、10、11、17 为已发掘探明的古耕层,特别是采样点 17,已在其文化层中发现大量陶片(图 1B)和粟、黍、水稻植硅体(图 1C)^[15],故该区域采样密集,以获取更多古人类活动信息。采样点 1~16

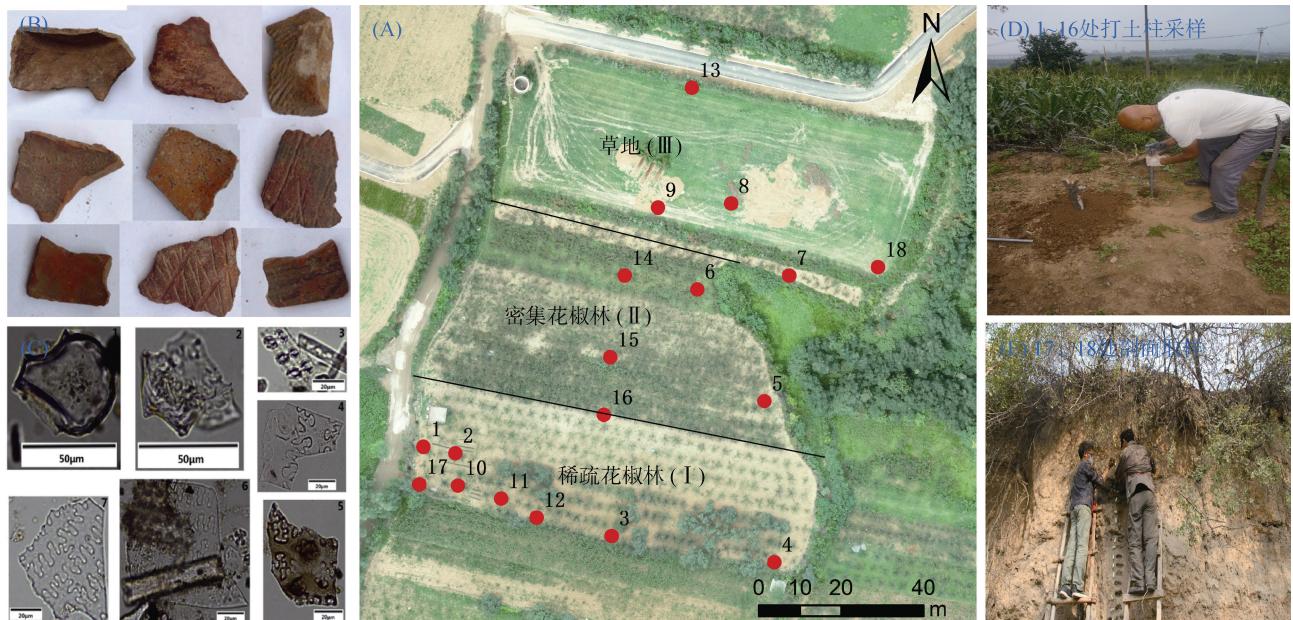


图 1 采样区域及方法
Fig. 1 Sampling area and method

均采用打土柱的方法,从地表探至古土壤层,根据土壤质地和颜色,结合考古断代进行分层,获取每一层中完整的土样(图 1D)。采样点 17、18 则直接在剖面上取样,刮去表面,获取每一层内完整的土样(图 1E)。各采样点每层均采集 1~2 个土壤微形态和常规理化分析土样,本研究共计获得 122 个土样。同时在采样点 17、18 土壤剖面中各土层底部共采集 6 个测年土样。

1.2 分析与测试

土壤微形态测定样品磨至标准厚度 30 μm , 制成规格 10 cm×10 cm 的薄片, 制备过程参考文献[16]。土壤微形态的分析在偏光显微镜下完成, 并在平面偏振光(PPL)和交叉偏振光(XPL)下对薄片进行放大 10 倍~500 倍观察, 图像经传感器传至计算机, 使用配套软件进行图片拍照、孔隙统计、粗骨颗粒和基质等特征的量化。土壤微形态特征鉴定标准参照 ISSS(国际土壤学会)推荐系统^[17], 包括在偏光显微镜下能够观察到的土壤颗粒和不能够清楚观察分辨的细物质, 分别从土壤基质、土壤形成物、土壤垒结 c/f(20 μm) 和土壤微结构 4 个方面进行考量。其中, 基质包含粗粒质和细粒质, 矿物质认定根据光性类型判定^[18]; 土壤垒结分别从粗粒质、细粒质以及两者的相对分布 3 方面进行考量。对采样点 17、18 采集的 6 个测年土样, 采用 AMS¹⁴C 进行年代测定, 利用软件 CALIB 5.01 校正日历年, 所用 ¹⁴C 半衰期为 5 568 年。对

采样点 17 进行磁化率和炭屑分析, 磁化率采用 BartingtonMS-2 型双频磁化率仪测定, 炭屑鉴定和统计在 Olympus BX-51 型光学显微镜(放大倍数为 ×400)下完成, 对直径大于 50 μm 的炭屑进行统计。土壤全氮采用重铬酸钾+硫酸消化-蒸馏法测定, 全磷采用碱熔-钼锑抗比色法测定, 碳酸钙采用气量法测定。

2 结果与分析

2.1 土壤基本理化特征

采样点 17(图 2A)、18(图 2B) 土壤剖面各层宏观特征差异明显。为体现遗址土壤特点, 结合考古土层分类, 从土质土色特征将整个剖面从上到下划分为表土层、文化层和古土壤层。表土层多为棕色, 质地野外速判为壤土(图 2C); 文化层多为灰棕色, 质地野外速判为粉壤土, 含有多种侵入体如陶片和骨头(图 2D)或特殊物质如炭屑(图 2E), 结合测年数据以及发掘的遗物遗迹, 确认文化层主要为仰韶文化中晚期至龙山文化早中期; 古土壤层为浊橙色, 质地野外速判为黏壤土(图 2F)。两处剖面土壤全氮含量表土层平均为 0.9 g/kg, 文化层平均为 0.90 g/kg, 古土壤层平均为 0.5 g/kg; 全磷含量表土层平均为 1.7 g/kg, 文化层平均为 3.3 g/kg, 古土壤层平均为 1.1 g/kg; 碳酸钙含量表土层平均为 76.1 g/kg, 文化层平均为 115.8 g/kg, 古土壤层平均为 63.2 g/kg。



图 2 土壤剖面及分层
Fig. 2 Soil profiles and stratification

采样点 1~16 为土柱采样, 通过野外观察, 与土壤剖面划分标准一致, 从上到下划分为表土层、文化层、古土壤层。总体上, 表土层平均厚度为 72 cm, 其干态颜色主要为棕色; 文化层平均厚度为 112 cm,

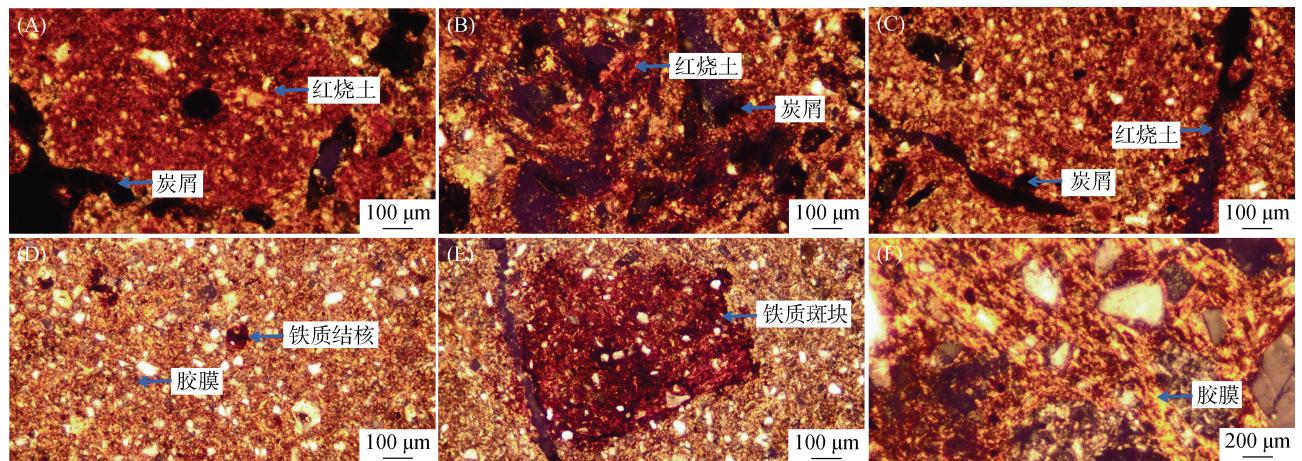
通过现场挖掘, 未发现现代人为活动干扰痕迹和现代侵入体, 其干态颜色主要为灰棕色; 古土壤层干态颜色主要为浊橙, 与前两层颜色具有明显的区别。各层土样土壤结构主要为团块状, 但采样点 5 和 10 第二

层均为片状, 推测发生了人为堆积或流水冲积。研究区域地带性土壤为黄土, 而仅采样点 1、2、10、13 出现碳酸钙结核和假菌丝, 推测受人类活动影响, 碳酸盐迁移或聚集发生了改变。采样点土壤侵入体主要为陶片和石器, 显示了该时期的文化特征, 炭屑指明了古人类用火信息^[19]。采样点 16 土壤全氮含量表土层为 0.87 g/kg, 文化层为 0.85 g/kg, 古土壤层为 0.56 g/kg; 全磷含量表土层为 1.62 g/kg, 文化层为 2.93 g/kg, 古土壤层为 1.31 g/kg; 碳酸钙表土层为 81.81 g/kg, 文化层为 116.59 g/kg, 古土壤层为 64.25 g/kg。总之, 全氮含量表层最高, 随着深度增加而降低, 但在某些文化层出现峰值; 全磷和碳酸钙含量随着深度增加而增加, 在文化层达到最大值, 但在古土壤层降至最小值。

2.2 土壤微形态特征

2.2.1 用火痕迹 在采样点 1、10、11、13、16、17 文化层土壤微形态样品中, 均可从土壤垒结形成物中清晰辨别用火痕迹, 基质中黑色炭屑散乱分布, 其中采样点 17 文化层炭屑含量达到最大值每克土 2.4×10^5 粒, 约为周边未受人为干扰土壤剖面最高值的 12.35 倍^[20], 且低频磁化率出现异常高值

$705.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 远高于周边未受人为干扰土壤^[21], 这些表明土壤经历了强程度的燃烧, 高温氧化条件充分。用火影响的土壤基质主要呈红棕色, 铁质垒结形成物主要呈团块状(图 3A)、碎屑状(图 3B), 其中块状丰度 35%~50%, 呈红棕色, 与周边土壤垒结有渐变的铁质胶膜界限; 碎屑状丰度 25%~35%, 呈深红色, 被孔隙分割, 推测经过人为活动干扰, 疑似翻动或搬运。部分碎屑呈熔融状态, 可见用火温度高且持续时间长, 而部分碎屑经历用火温度较低或持续时间短, 从而呈红橙色, 只有部分孔隙壁为深红色(图 3C), 推测在火堆边缘。通过比较, 古土壤层自然发育的基质主要呈黄褐色, 铁质垒结形成物主要呈粒状(图 3D)、斑块状(图 3E), 与周边土壤垒结界限清晰, 可观察到铁质团块被孔隙切割, 推测为植物根系穿插, 后植物死亡腐烂消解, 只留下孔隙, 孔隙壁附着黑色锰质胶膜。基质中黏粒胶膜发育充分, 因铁元素的加入及氧化过程呈红棕色, 胶膜随土壤溶液向下迁移或渗漏, 随后失水并在团聚体内或孔隙壁沉积, 表面光滑明亮或具有蜡质光泽。胶膜充填土壤基质和土壤裂隙, 紧紧包裹粗粒质和岩屑(图 3F)。



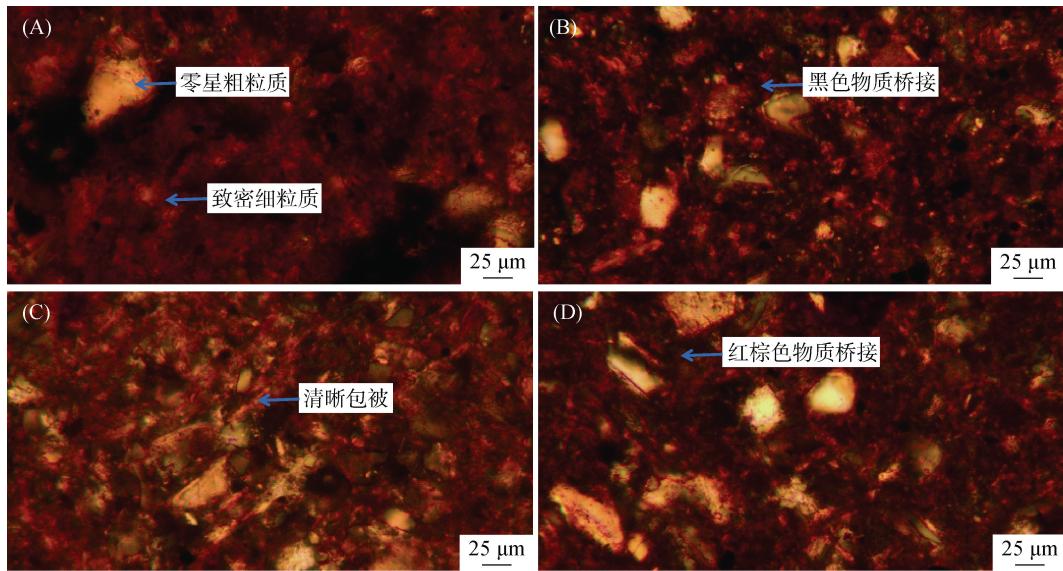
(A: 块状红烧土, B: 碎屑红烧土, C: 零星红烧土, D: 结核, E: 斑块, F: 胶膜; A~E 放大倍数均为 10×10 , F 放大倍数为 10×20 , XPL)

图 3 用火影响(A~C)和自然发育铁质基质(D~F)土壤微形态对比

Fig. 3 Comparison of soil micromorphology between fire effect(A-C) and naturally developed iron matrix(D-F)

文化层中粗粒质受到火烧作用影响, 分解成细小颗粒, 呈随机状, 较均匀分布; 细粒质受到火烧作用影响, 经化学反应形成的铁质氧化物覆盖其上, 显示出弱干涉色特征, 多为无分离 b-垒结; 细粒质与粗粒质相对分布主要呈现斑晶嵌埋(图 4A)和桥接状(图 4B), 即有些粗颗粒嵌埋在致密的细粒质中, 在观察的视域中, 不存在孔隙, 有些粗颗粒则被不透明的黑色

物质连接。相较之下, 古土壤层中粗粒质受到成土作用影响, 多分解为细小颗粒, 呈现堆积状, 被洞状孔隙分隔; 细粒质多为微晶 b-垒结, 具有双折射的微矿物; 细粒质与粗粒质相对分布主要呈包膜状(图 4C)和桥接状(图 4D), 即有些粗颗粒完全或部分被较细粒质包被, 可清晰看到铁质胶膜与周边土壤垒结的界限, 有些粗颗粒被不透明的红棕色物质连接。



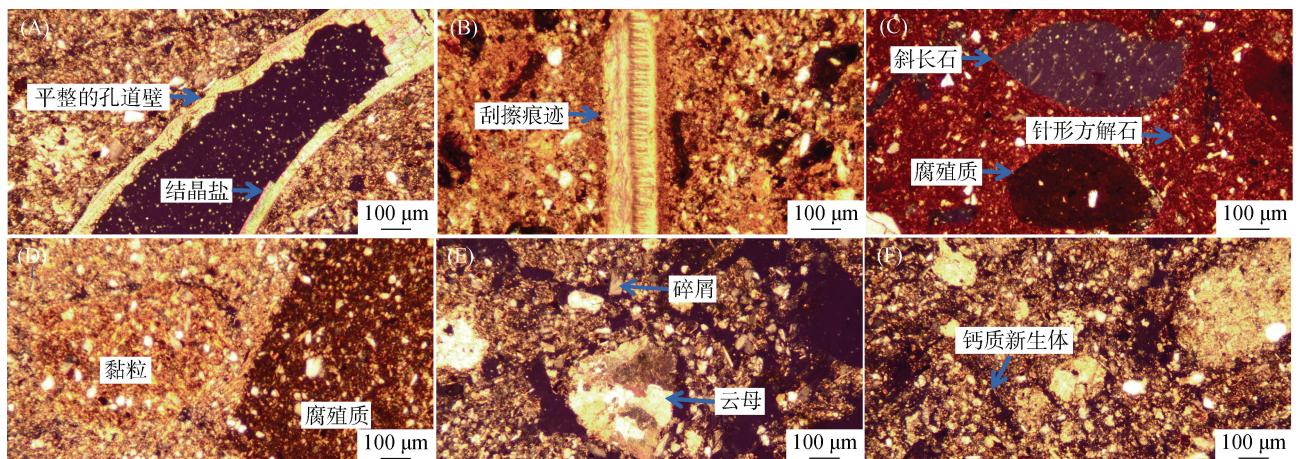
(A: 斑晶嵌埋状, B: 桥接状, C: 包膜状, D: 桥接状; A~D 放大倍数均为 10×40, XPL)

图 4 用火影响(A、B)和自然发育铁质基质(C、D)土壤垒结对比

Fig. 4 Comparison of the influence of fire (A, B) and natural development of iron matrix soil barrier (C, D)

2.2.2 培土扰动 在采样点 1、2、10、11、13、16、17 文化层土壤微形态样品中, 均可从土壤孔隙和垒结中识别出培土活动, 如平整的孔道(图 5A), 推测为古人插挖过后, 将土体切割成光滑平整的界面, 后经过挤压, 形成孔道, 并在孔壁上形成结晶盐; 平整的刮擦痕迹(图 5B), 推测为古人锄挖土体所致, 后经过扰动搬运, 残留部分; 紧密基质包裹的次圆形斜长石和腐殖质(图 5C), 表明古人翻动土壤, 粗粒质经过人为翻转, 相互碰撞摩擦,

多数分解成细粒质, 且边缘呈现次圆形, 与此同时, 古人施肥, 填入腐殖质、炭屑等, 后经过压实, 几乎没有孔隙; 紧密的不同土壤垒结之间存在清晰平整的界线(图 5D), 表明古人堆积土壤, 将培肥的土壤覆盖在原有土壤上, 并经过压实, 几乎没有孔隙。通过比较, 表土层粗骨颗粒散乱分布在土壤基质中, 主要由母质风化碎屑等杂乱堆集形成(5E), 碳酸盐与黏粒胶膜混合, 形状不规则不稳定, 表明成土作用弱、时间短(图 5F)。



(A: 插挖痕迹, B: 锄挖痕迹, C: 混合后压实, D: 覆盖后压实, E: 粗骨颗粒, F: 钙质新生体; A~F 放大倍数均为 10×10, XPL)

图 5 培土影响(A~D)与弱成土作用(E、F)的土壤微形态对比

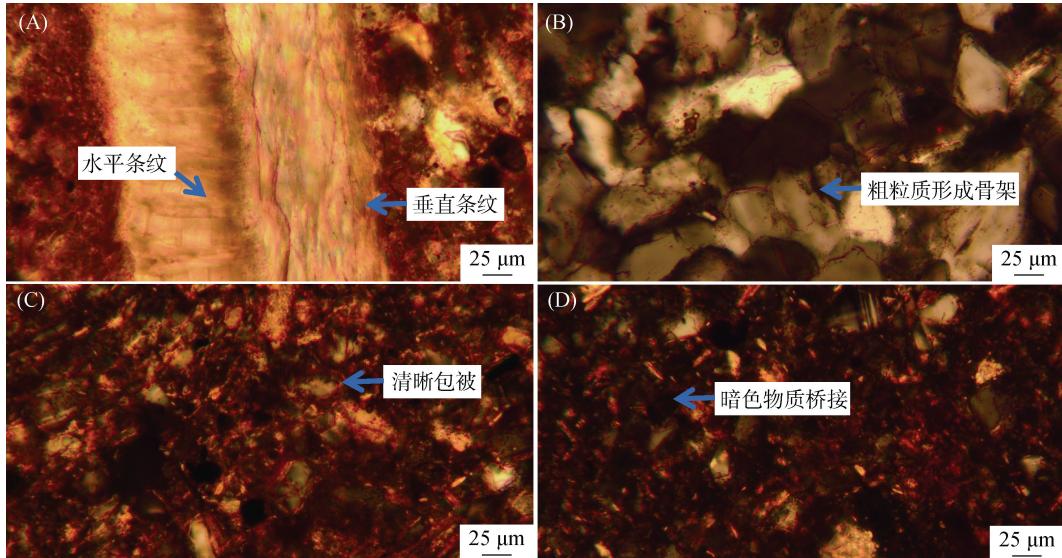
Fig. 5 Comparison of soil micromorphology under the influence of soil raising (A~D) and weak soil-forming (E, F)

文化层中粗粒质受到培土影响, 分解成细小颗粒, 呈现随机状, 较均匀分布; 细粒质除微晶 b-垒结外, 受到人为刮擦作用影响, 视域内的微小粒子构

成同时消光和细长的双折射条痕, 条痕中的干涉色不连续, 也呈现条纹状, 没有清晰的边界, 在单偏光下不能识别, 为条纹状 b-垒结(图 6A); 细粒质与粗粒

质除包膜状和桥接状外, 还出现填集状(图 6B), 由粗粒质颗粒组成骨架, 其间的孔隙中, 部分填充了较细粒质颗粒的集合体, 无填充的颗粒则互相支撑, 这也表明受到挤压影响。相较之下, 表土层中粗粒质成土作用弱, 多保持原始大小和形状, 呈现碎屑聚集状,

颗粒间互相堆叠或架空散布状; 细粒质多为微晶 b- 垒结, 具有双折的方解石; 细粒质与粗粒质相对分布主要呈现包膜状(图 6C)和桥接状(图 6D), 即有些粗粒质完全或部分被较细粒质包被, 有些粗粒质完全被不透明的暗色物质连接。



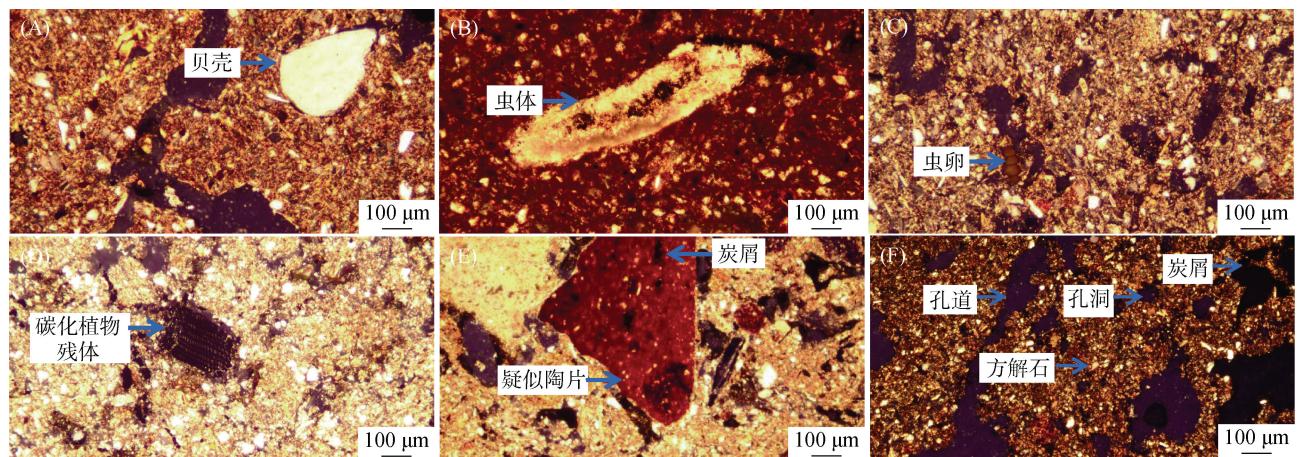
(A: 条纹状, B: 填集状, C: 包膜状, D: 桥接状; A~D 放大倍数均为 10×40, XPL)

图 6 培土影响(A、B)与弱成土作用(C、D)的土壤垒结对比

Fig. 6 Comparison of soil horst under the influence of soil raising(A, B) and weak soil-forming(C、D)

2.2.3 侵入体和微结构 在采样点 1、2、7、10、13、17 文化层土壤微形态样品中, 发现纹路清晰的贝壳(图 7A), 表明古人类的饮食结构中有河鲜, 同时已有研究表明, 古人类会用石灰面覆盖地表作为居住场所, 石灰面制作过程中会加入贝壳^[22]。腐殖质中虫体(图 7B)、土体中的虫卵(图 7C)、碳化的植物残体(图 7D), 反映了人类和牲畜与之共生伴生的生

物关系。边缘规则的红色碎片, 其中混入黑色炭屑, 疑似为红色陶片碎屑(图 7E)。孔隙类型主要为孔洞和孔道, 孔洞是由单粒或团聚体堆积而形成的一种开放性孔隙, 连通性较好, 部分孔洞被炭屑填充。孔道周围是致密的基质, 分布有黏土矿物和方解石, 基质被孔隙分割, 孔隙壁附着腐殖质, 呈现海绵状微结构(图 7F)。



(A: 贝壳, B: 虫体, C: 虫卵, D: 植物残体, E: 疑似陶片, F: 海绵状微结构; A~E 放大倍数为 10×10, F 放大倍数为 10×5, XPL)

图 7 侵入体(A~E)和微结构(F)

Fig. 7 Intrusive body(A – E) and microstructure(F)

3 讨论与结论

仰韶文化至中原龙山文化时期，古人类活动增强，导致土壤基质和垒结呈现多样化，其中用火行为导致土壤基质呈红棕色，这与 Rosen 等^[23]在中国伊洛河流域灰嘴遗址所发现古人类用火影响的土壤微形态颜色一致。相较古土壤层，本研究区文化层土壤中散乱分布因燃烧而产生的大量黑色炭屑，因燃烧时间和强度不同，形成的铁质团块大小不一。培土活动导致文化层土壤基质较为紧密，其中出现圆润或边界规则的腐殖质，混合白色结晶形成物以及黑色有机物，这与 Goodman-Elgar^[24]在秘鲁 Paca 峡谷古梯田所观察的腐殖质微形态特征一致。文化层中粗粒质受人为用火和培熟作用，多分解为细小颗粒，呈现随机状，较均匀分布；细粒质分布以及其与粗粒质分布也展现出多种关系，表明了人为干扰特点。文化层微结构主要呈现海绵状，表明在人为培熟作用下，土壤微结构发达。已有研究表明，海绵状微结构一般出现在耕作熟化程度较高且土壤肥力达到一定水平时，形成较多大而规则的孔隙，这样的孔隙有利于植物根系深扎以及土壤通气透水功能的发挥^[25]。相较表土层，文化层骨骼颗粒磨圆度好，以石英、长石等不易风化矿物为主，细粒物质主要是黏粒和次生方解石，这与申朝瑞等^[10]和张玉柱等^[11]所观察的古耕作土壤的微形态特征一致。研究区土壤全磷含量在文化层达到最大值，同时全氮含量较高，表明了古人类在此活动，这与国内其他古人类遗址研究结果一致^[26]，国外遗址研究中也发现高含量磷、氮与耕作活动有关^[27-29]。碳酸钙在文化层中富集，除自然淋溶淀积因素外，也与古人类活动有关，如 Parnell 等^[30]发现玛雅人利用贝壳沙作肥料的农田以及居住区的火塘附近的土壤均表现高含量钙，而本研究在土壤微形态中发现了贝壳。此外，已在本区域文化层中发现粟、黍和水稻等农作物的植硅体，其中，鉴定出的粟、黍类植硅体均来自于种子的稃壳，鉴定出的水稻植硅体主要来自茎叶组织^[15]，进一步表明本区域与古人类耕作活动有关。

综合土壤宏观观察、基本理化性质以及微形态分析结果，各指标有较好的对应关系，文化层土壤结构体主要为团块状，发育较强，含有陶片、炭屑等人工制品侵入体，全磷和碳酸钙含量达到最大值，全氮含量较高，相应在微形态观察中可观察到用火形成的铁质垒结形成物、炭屑和培土扰动痕迹等，这些结果皆指明古人类在此活动。

参考文献：

- [1] Courty M A, Goldberg P, MacPhail R. Soils and micromorphology in archaeology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [2] 梁壮, 任娜欧, 段文凯, 等. 磁山地区黄土-古土壤微形态特征及其古气候意义[J]. 第四纪研究, 2020, 40(5): 1264-1276.
- [3] Albert R M, Berna F, Goldberg P. Insights on Neanderthal fire use at Kebara Cave (Israel) through high resolution study of prehistoric combustion features: Evidence from phytoliths and thin sections[J]. Quaternary International, 2012, 247: 278-293.
- [4] Goldberg P, Dibble H, Berna F, et al. New evidence on Neandertal use of fire: Examples from Roc de Marsal and Pech de l'Azé IV[J]. Quaternary International, 2012, 247: 325-340.
- [5] 宋阿倩, 马志坤, 刘斌, 等. 商周时期储粮窖穴研究——以陕西旬邑西头遗址为例[J]. 中国农史, 2022, 41(4): 14-23, 62.
- [6] Baykara İ, Mentzer S M, Stiner M C, et al. The Middle Paleolithic occupations of Üçağızlı II Cave (Hatay, Turkey): Geoarchaeological and archeological perspectives[J]. Journal of Archaeological Science: Reports, 2015, 4: 409-426.
- [7] Kemp R, Branch N, Silva B, et al. Pedosedimentary, cultural and environmental significance of paleosols within pre-hispanic agricultural terraces in the southern Peruvian Andes[J]. Quaternary International, 2006, 158(1): 13-22.
- [8] Devos Y, Wouters B, Vrydaghs L, et al. A soil micromorphological study on the origins of the early medieval trading centre of Antwerp (Belgium)[J]. Quaternary International, 2013, 315: 167-183.
- [9] 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[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2518-2526.
- [10] 申朝瑞, 庞奖励, 黄春长. 泾河中游古耕作土壤的微形态特征研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 273-277.
- [11] 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.
- [12] 吴克宁, 王文静, 查理思, 等. 文化遗址区古土壤特性及古环境研究进展[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1169-1182.
- [13] 何翔宇, 吴克宁, 查理思, 等. 古人类活动对土壤理化性质的影响——以河南仰韶村文化遗址为例[J]. 土壤, 2017, 49(5): 1038-1048.
- [14] Maghsoudi M, Simpson I A, Kourampas N, et al. Archaeological sediments from settlement mounds of the Sagzabad Cluster, central Iran: Human-induced deposition on an arid alluvial plain[J]. Quaternary International, 2014, 324: 67-83.
- [15] 杜凯闯, 王文静, 吴克宁, 等. 河南仰韶村遗址原始农业活动研究[J]. 土壤, 2018, 50(4): 832-840.

- [16] Fitzpatrick E A. The micromorphology of soils[M]// *Micromorphology of Soils*. Dordrecht: Springer, 1984: 331–357.
- [17] Bullock P. Handbook for soil thin section description[M]. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985.
- [18] 何毓蓉, 张丹. 土壤微形态研究理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- [19] 杜建峰, 王宁练, 李建勇, 等. 洛阳盆地全新世炭屑记录及其古环境意义[J]. 第四纪研究, 2022, 42(2): 383–396.
- [20] 查理思, 吴克宁, 冯力威, 等. 古人类活动对土壤发育的影响——以河南仰韶村文化遗址为例[J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 850–859.
- [21] 查理思, 吴克宁, 梁思源, 等. 河南仰韶村文化遗址的土壤指示特征研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(1): 23–35.
- [22] Graham E, MacPhail R, Turner S, et al. The Marco Gonzalez Maya site, Ambergris Caye, Belize: Assessing the impact of human activities by examining diachronic processes at the local scale[J]. Quaternary International, 2017, 437: 115–142.
- [23] Rosen A, MacPhail R, Liu L, et al. Rising social complexity, agricultural intensification, and the earliest rice paddies on the Loess Plateau of Northern China[J]. Quaternary International, 2017, 437: 50–59.
- [24] Goodman-Elgar M. Evaluating soil resilience in long-term cultivation: A study of pre-Columbian terraces from the Paca Valley, Peru[J]. Journal of Archaeological Science, 2008, 35(12): 3072–3086.
- [25] 张晓娜, 王数, 王秀丽, 等. 北京地区不同土纲典型剖面的土壤微形态特征[J]. 土壤, 2016, 48(3): 565–573.
- [26] 曹志洪, 杨林章, 林先贵, 等. 绰墩遗址新石器时期水稻田、古水稻土剖面、植硅体和炭化稻形态特征的研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 838–847.
- [27] Cunha T J F, Madari B E, Canellas L P, et al. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (*Terra preta de Índio*) in the Brazilian Amazon Basin[J]. Revista Brasileira De Ciência Do Solo, 2009, 33(1): 85–93.
- [28] Homburg J A, Sandor J A. Anthropogenic effects on soil quality of ancient agricultural systems of the American Southwest[J]. CATENA, 2011, 85(2): 144–154.
- [29] Nielsen N H, Kristiansen S M. Identifying ancient manuring: Traditional phosphate vs. multi-element analysis of archaeological soil[J]. Journal of Archaeological Science, 2014, 42: 390–398.
- [30] Parnell J J, Terry R E, Nelson Z. Soil chemical analysis applied as an interpretive tool for ancient human activities in Piedras Negras, Guatemala[J]. Journal of Archaeological Science, 2002, 29(4): 379–404.