

DOI: 10.11766/trxb201811290496

查理思, 吴克宁, 庄大昌, 姜钰. 河南仰韶村遗址不同功能区土壤特征研究[J]. 土壤学报, 2020, 57 (2): 500–507.

ZHA Lisi, WU Kening, ZHUANG Dachang, JIANG Yu. Soil Properties of The Yangshao Village Cultural Relic Site, Henan Province Relative to Function[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57 (2): 500–507.

河南仰韶村遗址不同功能区土壤特征研究*

查理思¹, 吴克宁^{2†}, 庄大昌¹, 姜钰³

(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. 青岛市国土资源和房屋管理局崂山国土资源分局, 山东青岛 266000)

摘要: 为全面了解仰韶文化时期古人类不同活动内容和程度, 在仰韶村遗址内分别采集古人类遗址不同功能区(地基、饮食、瓮棺、陶窑)和未受到古人类活动干扰的土壤剖面(简称自然剖面)土样, 进行色度、磁化率、颗粒组成、游离铁、矿质全量、土壤微形态分析, 通过与自然剖面数据比较, 获知古人类不同活动对土壤的影响程度。结果显示, 在地基区, 黏粒含量最高, CaO 含量较高, P 含量最高, 土壤微形态显示了古人类在石灰面中加入多种不同的集料。在饮食区, 土壤微形态显示炭屑含量丰富, 且排列呈现一定方向。在瓮棺区, χ_{td} 为最大值, 游离铁和游离度均为最大值。在陶窑区, χ_{tr} 为最大值, P 含量较高, 土壤微形态显示经过高温煅烧。结论表明, 古人类选择黏土和石灰混合铺设地面, 长期居住产生大量含磷物质; 古人类长期在饮食区烹煮食物, 并对灰烬进行清理; 瓮棺中的尸体在腐烂过程中, 由于土壤动物和微生物的参与, 不仅增加土壤细颗粒, 还促进了土壤发育; 古人类烧制陶器时, 可能将生活垃圾进行燃烧, 因此 P 富集。

关键词: 土壤特征; 古人类活动; 仰韶文化

中图分类号: S159 **文献标志码:** A

Soil Properties of the Yangshao Village Cultural Relic Site, Henan Province Relative to Function

ZHA Lisi¹, WU Kening^{2†}, ZHUANG Dachang¹, JIANG Yu³

(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. Laoshan Land Resources Sub-bureau, Qingdao Municipal Land Resources & Housing Administrative Bureau, Qingdao, Shandong 266000, China)

Abstract: In order to fully understand contents and degrees of the various ancient human activities in the Yangshao culture period, soil samples were collected from different functional areas (housing foundation, living quarters, urn coffin, pottery kiln) and soil profile not disturbed by ancient human activities (natural profile in short) in the Yangshao Village site for analysis of chromaticity, magnetic susceptibility, particle size composition, free iron, total mineral content and soil micromorphology. By comparing the findings with the natural profile data, it was learnt how much ancient human activities affected the soil. Results show that among the four functional areas, the housing foundation area is the highest in clay content and P content and relatively higher in CaO

* 国家自然科学基金项目(41371226)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.41371226)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wukening@cugb.edu.cn

作者简介: 查理思(1988—), 男, 江西庐山人, 博士, 讲师, 主要从事土壤考古研究。E-mail: 511611249@qq.com

收稿日期: 2018-11-29; 收到修改稿日期: 2019-01-20; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2019-02-25

content and had various ingredients added into the lime layer as the analysis of soil micromorphology indicates; the living quarters is the highest in content of carbon dust content, which exists along a certain direction; the urn-coffin area is the highest in χ_{fd} , and the highest in content of free iron and ionization degree of the iron; and the pottery kiln area is the highest in χ_{if} relatively higher in content of P and has soil that had been calcinated under high temperature ion as analysis of micromorphology indicates. The conclusion shows that, ancient people chose on purpose clay and calcium carbonate sand to pave the ground. Long term residence produced a large amount of phosphorus. Ancient people cooked food, producing a lot of carbon dust in the living area. After burial of the dead with urn, decaying of the corpses facilitated growth of animals and microorganisms, which in turn helped formation of soil fine particles and soil development. In calcinating pots, they might probably used domestic waste as fuel.

Key words: Soil characteristics; Ancient human activities; Yangshao culture

土壤理化分析能有效地还原古人类活动类型及强度,无论是在单个遗址还是区域考古研究中均能提供许多信息,因为土壤是人类活动的舞台,不仅记录了人造景观信息,也保留了社会文化信息。因此土壤理化分析在考古研究中由来已久,20世纪60年代起,在食物残渣、遗物遗迹研究中经常被运用^[1]。80年代以来,遗址土壤数据能有效帮助考古学家了解遗物遗迹的年代^[2]。进入2000年后,随着土壤理化分析技术的进步,土壤学与考古学的融合得到进一步发展,越来越多的学者开始系统研究土壤理化分析在考古研究中的规范和价值,特别是运用在古人类遗址不同功能区的甄别中^[3-5]。

目前,主要研究方法主要为土壤化学性质分析,其中磷、氮、碳使用频率最多,该方法能有效区分出古人类农业区和居住区^[6-16]。其他金属元素以及微量元素的运用日渐频繁,特别是微量元素,能更为细致地区分不同古人类活动遗迹以及活动,如制陶、冶炼等^[17-23]。磁化率可有效检测出古人类用火迹象^[24-25]。此外,土壤微形态在解读古人类具体活动内容,如建筑材料和食物等^[26-30]。仰韶村遗址是仰韶文化命名地,是重要的新石器时期遗址,目前已通过多次考古挖掘,确认了地基、饮食、瓮棺、陶窑不同功能区。因此,本研究在该遗址内分别采集不同功能区 and 未受到古人类活动干扰的土壤剖面(简称自然剖面)土样,分析不同功能区土壤理化性质,并与自然剖面数据进行比较,获知古人类不同活动对土壤的影响程度,并为探究新石器时期古人类活动内容提供土壤学依据。

1 材料与方 法

遗址概况和自然剖面描述可详见《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》一文^[31],不同功能区地基、饮食、瓮棺、陶窑如图1所示。自然剖面在观察深度4 m范围内,间隔10 cm从下至上连续采集土样10 g,不同功能区则在明显特征区位采集土样10 g和土壤微形态样品。色度参数红度(a^*)、黄度(b^*)、亮度(L^*)分析采用日本柯尼卡美能达公司CM-700d分光测色仪测定,磁化率分析采用英国BartingtonMS-2型双频磁化率仪测定,颗粒组成采用英国Mastersizer2000型激光粒度仪测定,游离铁采用CBD法提取测定,矿质全量分析采用碳酸锂-硼酸熔融,X射线荧光光谱分析法测定。土壤微形态样品用不饱和聚酯树脂——丙酮溶液浸渍,再进行切片、磨片,使用Nikon偏光显微镜进行土壤微形态观察。自然剖面各理化性质的400个数据进行平均计算,获得自然背景值^[32],以便与不同功能区土壤数据进行对比研究。

2 结 果

2.1 色 度

色度结果如表1所示,古人类遗址不同功能区 a^* 范围为1.95~4.76,平均值为3.08; b^* 范围为4.14~11.84,平均值为8.35; L^* 范围为14.64~34.94,平均值为25.91。自然剖面 a^* 平均值为5.39, b^* 平均值为12.59, L^* 平均值为26.69。

2.2 磁化率

磁化率结果如表2所示,古人类不同功能区低频磁化率(χ_{lf})范围为124.6~712.7 $\times 10^{-8}$ $m^3 \cdot kg^{-1}$,平均值为326.0 $\times 10^{-8}$ $m^3 \cdot kg^{-1}$;频率磁化率(χ_{fd})范围为4.64%~11.37%,平均值为7.96%。自然剖面 χ_{lf} 平均值为132.1 $\times 10^{-8}$ $m^3 \cdot kg^{-1}$, χ_{fd} 平均值为10.36%。



图1 古人类遗址不同功能区(1. 地基, 2. 饮食, 3. 瓮棺, 4. 陶窑)

Fig. 1 Functional areas of the ancient human relic site (1. Housing foundation, 2. Diet, 3. Urn coffin, 4. Pottery kiln)

表1 土样色度值

Table 1 Chromaticity of the soil samples

	a*红度 Redness	b*黄度 Yellowness	L*亮度 Lightness
地基 Housing foundation	2.34	7.97	34.94
饮食 Diet	1.95	4.14	14.64
瓮棺 Urn coffin	4.76	11.84	28.76
陶窑 Pottery kiln	3.25	9.45	15.28
自然剖面 Natural profile	5.39	12.59	26.69

表2 土样磁化率值

Table 2 Magnetic susceptibility of the soil samples

	χ_{lf} 低频磁化率 ^① /($\times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	χ_{fd} 频率磁化率 ^② /%
地基 Housing foundation	124.6	9.11
饮食 Diet	301.7	6.73
瓮棺 Urn coffin	165.9	11.37
陶窑 Pottery kiln	712.7	4.64
自然剖面 Natural profile	132.1	10.36

① Low frequency magnetic susceptibility, ② Frequency dependent magnetic susceptibility

2.3 颗粒组成

颗粒组成结果如表3所示,古人类遗址不同功能区黏粒含量范围为41.5~127.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为

89.4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 细粉砂含量范围为255.5~506.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为390.6 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 粗粉砂含量范围为284.0~461.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为354.5 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 砂粒含量范围为38.0~316.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为170.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。自然剖面黏粒平均含量为119.7 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 细粉砂平均含量为440.9 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 粗粉砂平均含量为357.9 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 砂粒平均含量为81.5 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.4 游离铁

游离铁和游离度结果如表4所示,古人类遗址不同功能区游离铁范围为2.13~18.84 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为8.97 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 游离度范围为8.37%~29.73%, 平均值为16.65%。自然剖面游离铁平均值为12.71 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 游离度平均值为25.54%。

2.5 矿质全量

矿质全量结果如表5所示,古人类遗址不同功能区 SiO_2 含量范围为656.10~672.80 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为660.00 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; Al_2O_3 含量范围为110.70~157.70 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为132.7 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; Fe_2O_3 含量范围为41.40~60.60 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为50.30 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; CaO 含量范围为6.10~24.80 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为15.50 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; P 含量范围为5.48~9.98 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为8.42 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。自然剖面 SiO_2 平均含量为670.08 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, Al_2O_3 平均含量为143.91 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, Fe_2O_3 平均含量为54.04 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, CaO 平均含量为8.94 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, P 平均含量为0.67 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 3 土样颗粒组成

Table 3 Particle size composition of the soil samples/(g·kg⁻¹)

	黏粒 Clay (<2 μm)	细粉砂 Fine silt (2~16 μm)	粗粉砂 Coarse silt (16~63 μm)	砂粒 Sand (>63 μm)
地基 Housing foundation	127.0	505.0	284.0	84.0
饮食 Diet	41.5	255.5	461.0	242.0
瓮棺 Urn coffin	113.0	506.0	343.0	38.0
陶窑 Pottery kiln	58.2	295.8	330.0	316.0
自然剖面 Natural profile	119.7	440.9	357.9	81.5

表 4 土样游离铁和游离度

Table 4 Free iron and ionization degree of the soil samples

	游离铁 Free iron/ (g·kg ⁻¹)	游离度 Ionization degree/%
地基 Foundation	2.13	13.19
饮食 Diet	5.51	15.32
瓮棺 Urn coffin	15.84	29.73
陶窑 Pottery kiln	8.38	8.37
自然剖面 Natural profile	12.71	25.5

表 5 土样矿质全量

Table 5 Total mineral content of the soil samples / (g·kg⁻¹)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	Ni	Cu	Zn	Ba	P
地基 Housing foundation	672.00	119.20	44.30	24.20	15.70	26.40	16.40	6.72	1.15	0.46	0.79	1.02	0.60	9.98
饮食 Diet	656.10	110.70	41.40	24.80	16.60	25.40	14.60	6.28	0.99	0.58	0.62	1.00	0.61	8.73
瓮棺 Urn coffin	638.90	157.70	60.60	6.10	18.30	25.00	10.80	7.92	0.85	0.66	0.66	0.89	0.60	9.50
陶窑 Pottery kiln	672.80	143.00	54.90	6.90	16.80	25.80	13.10	7.74	0.79	0.53	0.64	0.90	0.46	5.48
自然剖面 Natural profile	670.08	143.91	54.04	8.94	18.99	25.80	13.99	7.77	0.86	0.51	0.61	0.89	0.50	0.67

2.6 土壤微形态

土壤微形态照片均为 100 倍单偏光下拍摄,地基处土壤微形态中发现贝壳、植物残体,如图 2 和图 3 所示。饮食处土壤微形态照片显示炭屑含量十分丰富,混在土壤颗粒中,呈一定方向排列或海绵状分布,如图 4 和图 5 所示。陶窑处土壤微形态显示部分黏土因高温烧制变红,形成氧化铁等赘生物,如图 6 所示。部分石英和黏土矿物玻璃化,经煅烧的细小陶器碎片垒结具有较高的双折射率,如图 7 所示。

3 讨论

色度方面,古人类不同功能区与自然剖面的 a*、b*平均值比值均小于 1, L*除地基区和瓮棺区大于 1 外,其余均小于 1。可以看出,古人类活动明显减小了色度数值,以地基、饮食表现明显,但不同活动对土壤颜色改变差异明显,其中地基 L*增加,表明增加了碳酸钙类物质。

磁化率方面,除地基区外,饮食区、瓮棺区和

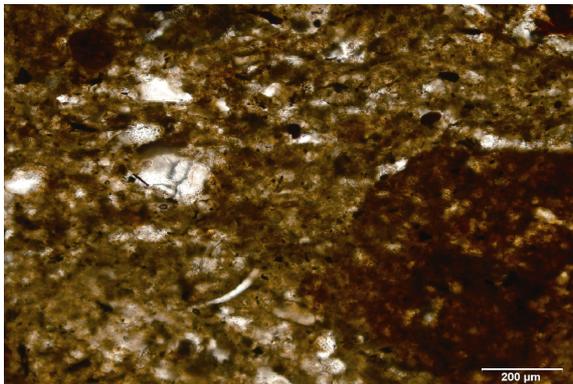


图 2 贝壳
Fig. 2 Shell

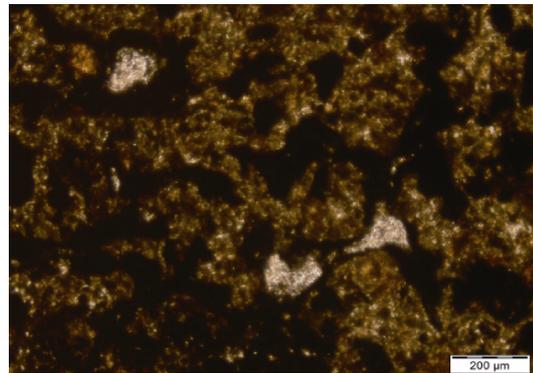


图 5 海绵状分布碳屑
Fig. 5 Spongy distribution of carbon dust

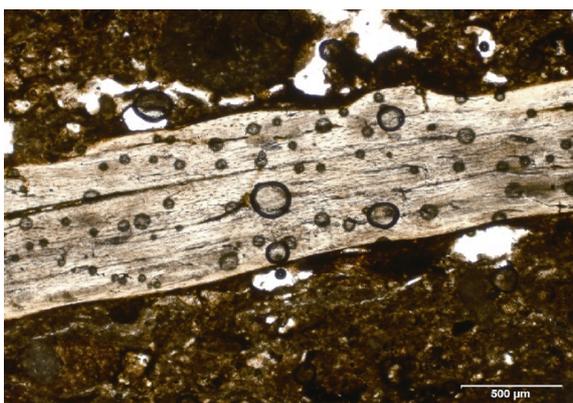


图 3 植物残体
Fig. 3 Plant residue

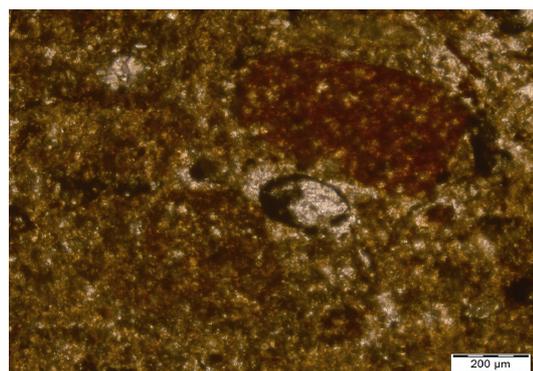


图 6 氧化铁
Fig. 6 Ferric oxide

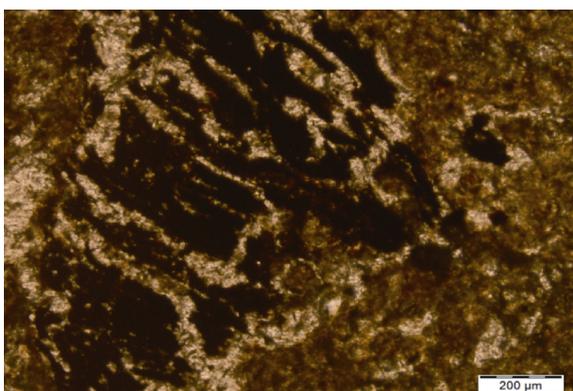


图 4 定向分布碳屑
Fig. 4 Directional carbon distribution

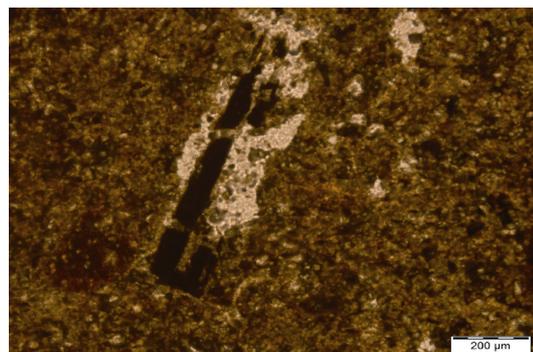


图 7 陶片
Fig. 7 Pottery sherd

陶窑区与自然剖面的 χ_{lf} 的平均值比值均大于 1, 除瓮棺区外, 地基区、饮食区和陶窑区与自然剖面的 χ_{fd} 的平均值比值均小于 1。可以看出, 古人类活动总体提高了土壤的 χ_{lf} , 以古人类用火形成的饮食、陶窑遗迹表现明显, 降低了土壤的 χ_{fd} , 阻碍了土壤发育, 瓮棺区除外。

颗粒组成方面, 地基区与自然剖面的黏粒、细粉砂、砂粒平均含量比值大于 1, 饮食区与自然剖面的粗粉砂、砂粒平均含量比值大于 1, 瓮棺区与自然剖面的细粉砂平均含量比值大于 1, 陶窑区与自然剖面的砂粒平均含量比值大于 3。可以看出, 古人类活动增加了粗砂含量, 但不同活动差异明显, 地基区细粉砂相对增加较多, 饮食区粗粉砂、砂粒增加明显, 陶窑区砂粒含量增加明显, 瓮棺区细粉

砂有所增加。

游离铁方面，除瓮棺区外，地基区、饮食区和陶窑区与自然剖面的游离铁和游离度平均值比值均小于 1。可以看出，古人类活动减少了游离铁和游离度，阻碍了土壤发育，其中地基区表现明显，瓮棺区游离铁和游离度增加，促进土壤发育。

矿质全量方面，古人类不同功能区与自然剖面的各氧化物和元素平均含量比值中，P 大于 12，CaO、MnO、Ni、Cu、Zn、Ba 大于 1，其余均略小于 1。可以看出，地基区和饮食区 P 和 CaO 含量明显增加，瓮棺区 P 含量明显增加， Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量相对增加，陶窑区 P 含量也增加。

综上所述，在地基区，古人类利用石灰面覆盖地表，其 a^* 、 b^* 较小、 L^* 较大， χ_{If} 和 χ_{fd} 均较小，游离铁为最小值，游离度较小，黏粒含量最高，这可能是古人类利用黏土与石灰岩制作石灰面^[33]。CaO 含量较高，P 含量最高，土壤微形态显示了古人类在石灰面中加入多种不同的集料，如蜗牛等，这也反映了该地区容易获得的矿物^[34]。在饮食区， a^* 、 b^* 、 L^* 均为最小值， χ_{If} 较大， χ_{fd} 为最小值，游离铁和游离度均较小，粗粉砂含量最高。CaO 含量最高，P 含量较高，土壤微形态显示炭屑含量丰富，表明古人类长期在此利用植物燃烧，烹煮食物，不仅产生了大量磁性物质，导致磁化率值异常高，也产生了大量粗颗粒物，或是为了及时灭火，人为添加粗砂类物质。通过微形态观察，该处碳屑部分呈现定向排列，表明经过人为清理，古人类可能将过多的灰烬进行清扫。在瓮棺区，根据现场观察，该处属于“瓦片葬”类，即打碎一件或多件陶器平铺或垫于人骨之上。其 a^* 、 b^* 、 L^* 均为最大值， χ_{If} 较小， χ_{fd} 为最大值，游离铁和游离度均为最大值，细粉砂含量最高。 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 含量达到最高， SiO_2 和 CaO 含量最小，P 含量较高。表明该处土壤发育状况良好，但 L^* 值较高，说明碳酸钙含量丰富，这与其他土壤指标所反映的发育良好相矛盾，推测古人类进行瓮棺埋葬时，人为添加碳酸钙类物质。在陶窑区， a^* 、 b^* 较大， L^* 较小， χ_{If} 最大， χ_{fd} 最小，游离铁较小，游离度最小，砂粒含量最高，P 含量较高。仰韶时期陶窑的烧制温度可达到 $950\text{ }^\circ\text{C} \sim 1050\text{ }^\circ\text{C}$ ^[35]，土壤微形态也显示经过高温煅烧，高温导致了土壤磁化率值出现最大值，并且仰韶时期陶器的烧制环境主要为氧化，土壤中的铁质也大部分

转换成 Fe^{3+} ，从而 a^* 、 b^* 较大。燃烧产物富含 P，推测古人类将生活垃圾进行燃烧。

4 结 论

不同古人类活动对土壤理化性质产生不同的影响，反映了不同的活动内容。地基区内，古人类有目的地选择富含黏土和碳酸钙的石灰面铺设地表，并在石灰面中加入多种不同的集料，如蜗牛壳等，长期居住其上，富集大量含磷物质。饮食区内，古人类用火导致磁化率值升高，并产生或人为添加大量粗颗粒物，土壤微形态表明古人类在此进行清理，以便长期使用。瓮棺区内，瓮棺尸体在腐烂过程中，由于土壤动物和微生物的参与，不仅增加土壤细颗粒，还促进了土壤发育，但碳酸钙含量异常较高，推测人为添加。陶窑区内，古人类高强度用火，导致土壤磁化率值出现最大值，同时氧化烧制环境导致土壤中的铁质物质大部分转化成 Fe^{3+} 。此外，推测古人类烧制陶器时将生活垃圾进行燃烧，因此 P 富集。

参考文献 (References)

- [1] Pollard A M, Batt C, Kravchenko Y S, et al. Analytical chemistry in archaeology. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Pastor A, Gallelo G, Cervera M L, et al. Mineral soil composition interfacing archaeology and chemistry. Trends in Analytical Chemistry, 2016, 78 (78): 48—59.
- [3] Haslam R, Tibbett M. Sampling and analyzing metals in soils for archaeological prospection: A critique. Geoarchaeology, 2004, 19 (8): 731—751.
- [4] MacPhail R I. Soils and archaeology//Encyclopedia of Archaeology. New York: Academic Press, 2008.
- [5] Walkington H. Soil science applications in archaeological contexts: A review of key challenges. Earth-Science Reviews, 2010, 103 (3/4): 122—134.
- [6] Dong G H, Xia Z K, Liu D C, et al. The impact of human activities on the chemical properties of paleosol in Mengjin, Henan Province during civilization. Journal of Lanzhou University (Natural Science), 2007, 43 (1): 6—10. [董广辉, 夏正楷, 刘德成, 等. 文明起源时期河南孟津地区人类活动对土壤化学性质的影响. 兰州大学学报(自然科学版), 2007, 43 (1): 6—10.]
- [7] Zha L S, Wu K N, Ju B, et al. Research on the chemical constituents' contents and changes of Paleosol in Erlitou Culture Sites. Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44 (6): 1414—1417. [查理思, 吴克宁, 鞠兵, 等. 二里

- 头文化遗址区土壤化学成分含量及变化研究, 土壤通报, 2013, 44 (6): 1414—1417.]
- [8] Salisbury R B. Interpolating geochemical patterning of activity zones at Late Neolithic and Early Copper Age settlements in eastern Hungary. *Journal of Archaeological Science*, 2013, 40 (2): 926—934.
- [9] Nielsen N H, Kristiansen S M. Identifying ancient manuring : Traditional phosphatevs. multi-element analysis of archaeological soil. *Journal of Archaeological Science*, 2014, 42 (1): 390—398.
- [10] Ferro-Vázquez C, Martínez-Cortizas A, Nóvoa-Muñoz J C, et al. 1500 years of soil use reconstructed from the chemical properties of a terraced soil sequence. *Quaternary International*, 2014, 346 (12): 28—40.
- [11] Homburg J A, Sandor J A. Anthropogenic effects on soil quality of ancient agricultural systems of the American Southwest. *Catena*, 2011, 85 (2): 144—154.
- [12] Schlezinger D R, Howes B L. Organic phosphorus and elemental ratios as indicators of prehistoric human occupation. *Journal of Archaeological Science*, 2000, 27 (6): 479—492.
- [13] Fernández F G, Terry R E, Inomata T, et al. An ethnoarchaeological study of chemical residues in the floors and soils of Q'eqchi' Maya houses at Las Pozas, Guatemala. *Geoarchaeology*, 2002, 17 (6): 487—519.
- [14] Suleimanov R R, Obydenova G T. Soil-archaeological studies of the bronze-age settlement on the Urshak River floodplain, Bashkortostan. *Eurasian Soil Science*, 2006, 39 (8): 820—825.
- [15] Wilson C A, Davidson D A, Cresser M S. Multi-element soil analysis: An assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation. *Journal of Archaeological Science*, 2008, 35 (2): 412—424.
- [16] Migliavacca M, Pizzeghello D, Ertani A, et al. Chemical analyses of archaeological sediments identified the ancient activity areas of an Iron age building at Rotzo (Vicenza, Italy). *Quaternary International*, 2013, 289: 101—112.
- [17] Li Z X, Zhu C, Wang R, et al. Multi-element records of the deposits for ancient human activities at the Liaowadian site in Hubei Province. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28 (6): 113—118. [李中轩, 朱诚, 王然, 等. 湖北辽瓦店遗址地层中多元素指标对古人类活动的记录. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28 (6): 113—118.]
- [18] Dirix K, Muechez P, Degryse P, et al. Multi-element soil prospection aiding geophysical and archaeological survey on an archaeological site in suburban Sagalassos (SW-Turkey). *Journal of Archaeological Science*, 2013, 40 (7): 2961—2970.
- [19] Cook S R, Clarke A S, Fulford M G, et al. Characterizing the use of urban space: A geochemical case study from Calleva Atrebatum (Silchester, Hampshire, UK) Insula IX during the late first/early second century AD. *Journal of Archaeological Science*, 2014, 50 (1): 108—116.
- [20] Fleisher J, Sulas F. Deciphering public spaces in urban contexts : Geophysical survey , multi-element soil analysis, and artifact distributions at the 15th-16th-century AD Swahili settlement of Songo Mnara , *tanzania*. *Journal of Archaeological Science*, 2015, 55: 55—70.
- [21] Kamenov G D, Brenner M, Tucker J L. Anthropogenic versus natural control on trace element and Sr-Nd-Pb isotope stratigraphy in peat sediments of southeast Florida (USA) 1500 AD to present. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2009, 73 (12): 3549—3567.
- [22] Zglobicki W. Impact of microtopography on the geochemistry of soils within archaeological sites in SE Poland. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70 (7): 3085—3092.
- [23] Gallelo G, Pastor A, Diez A, et al. Anthropogenic units fingerprinted by REE in archaeological stratigraphy: Mas d'Is (Spain) case. *Journal of Archaeological Science*, 2013, 40 (2): 799—809.
- [24] Zhang Y, Guo Z T, Deng C L, et al. The use of fire at Zhoukoudian: Evidence from magnetic susceptibility and color measurements. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59 (8): 679—686. [张岩, 郭正堂, 邓成龙, 等. 周口店第 1 地点用火的磁化率和色度证据. *科学通报*, 2014, 59 (8): 679—686.]
- [25] Shi W, Zhu C, Xu W F, et al. Relationship between abnormal phenomena of magnetic susceptibility curves of profiles and human activities at Zhongba site in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62 (3): 257—267. [史威, 朱诚, 徐伟峰, 等. 重庆中坝遗址剖面磁化率异常与人类活动的关系. *地理学报*, 2007, 62 (3): 257—267.]
- [26] Suarez Villagran X , Gianotti C. Earthen mound formation in the Uruguayan lowlands (South America): Micromorphological analyses of the Pago Lindo archaeological complex. *Journal of Archaeological Science*, 2013, 40 (2): 1093—1107.
- [27] Mallol C, Mentzer S M. Contacts Under the Lens: Perspectives on the role of microstratigraphy in archaeological research. *Archaeological & Anthropological Sciences*, 2017, 9 (8): 1645—1669.
- [28] 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. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 (11): 2518—2526. [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.]
- [29] Zhang Y Z, Huang C C, Pang J L, et al. Micromorphology

- of ancient plow layer of paleosol in the lajia ruins in the Guanting basin, Minhe County, Qinghai Province. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 (5): 1002—1013. [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. *土壤学报*, 2015, 52 (5): 1002—1013.]
- [30] Shen Z R, Pang J L, Huang C C. Micromorphological features of palaeo cultivated soil in middle reaches of Jinghe River. *Journal of Desert Research*, 2007, 27 (2): 273—277. [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. *中国沙漠*, 2007, 27 (2): 273—277.]
- [31] Zha L S, Wu K N, Feng L W, et al. Influence of ancient human activities on development of soil—A case study of Yangshao Village Cultural Relic Site, Henan Province. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (4): 850—859. [查理思, 吴克宁, 冯力威, 等. 古人类活动对土壤发育的影响——以河南仰韶村遗址为例. *土壤学报*, 2016, 53 (4): 850—859.]
- [32] Zha L S. Soil characteristics , function and paleoenvironment in Yangshao cultural relic site. Beijing: China University of Geosciences, 2017. [查理思. 仰韶村遗址土壤的特征和功能及古环境研究. 北京: 中国地质大学 (北京), 2017.]
- [33] Branda F, Luciani G, Costantini A, et al. Interpretation of the thermogravimetric curves of ancient pozzolanic concretes. *Archaeometry*, 2001, 43 (4): 447—453.
- [34] Casadio F, Chiari G, Simon S. Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate : A comparative assessment of chemical , mechanical and microscopic approaches. *Archaeometry*, 2005, 47 (4): 671—689.
- [35] Zhou R, Zhang F K, Zheng Y P. Studies on the technology of Neolithic and Yin and Chou pottery unearthed in the Yellow River valley. *Acta Archaeologica Sinica*, 1964 (1): 1—27. [周仁, 张福康, 郑永圃. 我国黄河流域新石器时代和殷周时代制陶工艺的科学总结. *考古学报*, 1964 (1): 1—27.]

(责任编辑：檀满枝)