

# 连云港藤花落遗址土壤粒度及重金属累积特征

周 华<sup>1</sup>, 廖富强<sup>2</sup>, 徐明星<sup>3</sup>, 周生路<sup>1</sup>, 吴绍华<sup>1</sup>

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 江西师范大学地理与环境学院, 江西 南昌, 330022; 3. 浙江省工商大学旅游与城市管理学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 对江苏北部连云港龙山文化时期藤花落遗址城市生活区(L1)剖面 and 农业生产区(L2)剖面土壤重金属累积及土壤粒度特征分析发现, 龙山文化时期人类活动已经出现明显土壤重金属累积, 但影响仅局限人类生活区, 农业生产区无累积现象; Cu、Pb 和 Zn 累积最为明显, 富集指数分别达到 1.91、1.35 和 1.29, 该遗址文明已进入铜石并用时代。同时分析土壤粒度发现, 遗址文明存在期间曾发生过大规模或长时间水患事件, 破坏农业生产条件, 最终导致整个文明走向衰落。重金属累积及土壤粒度的综合分析, 揭示史前文明演变的过程及其与自然环境的规律。

**关 键 词:** 藤花落遗址; 龙山文化; 重金属累积; 粒度; 江苏省

**中图分类号:** X53      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2013)03-0349-07

土壤作为地质历史变迁过程中的重要产物, 记录非常丰富的信息<sup>[1,2]</sup>, 特别是人类活动出现后, 各种活动方式大都能通过一定的物质形态记录在土壤地层中。通过土壤相关研究, 可以反演沉积环境及物质运移方式变迁<sup>[3,4]</sup>, 较为清楚勾画文明变迁、历史演变、人类社会发展的轨迹<sup>[5-12]</sup>。从研究的手段和对象上讲, 高海拔、高纬度的冰芯、湖泊中的沉积物等都可记录环境信息<sup>[7,13-16]</sup>, 但这些媒介更多的是反映了全球或一个区域环境宏观的变化情况; 而土壤直接与人类活动接触, 对其性质及重金属含量变化的研究能更加清晰地刻画人类活动的方式和细节, 对人类活动更具有指示作用<sup>[17-20]</sup>。

研究表明, 全新世中晚期大约 4 000 a B.P. 前后是中国新石器文化发展过程中的一个里程碑式的质变点, 其主要标志之一是龙山时代新石器文化发生衰落或终结, 及同一时期以夏朝建立为标志的中国古代文明或古代国家社会最终形成<sup>[21]</sup>, 因此龙山文化时期是中国史前文明迈入古代文明的最后一站。连云港藤花落遗址是龙山文化时期典型代表, 也是中国目前发现的第一座内外城结构

史前遗址, 它对于研究中国史前城址的平面布局和古城市发展具有重要意义; 同时该遗址具有史前原始氏族社会向国家社会过渡时期的灿烂文明, 对中国古文化和文明起源研究具有重要价值<sup>[22]</sup>。通过该遗址土壤重金属累积及粒度变化特征的研究, 对了解龙山文化时期文明发展、变迁, 认识古时人地关系, 丰富中国历史序列具有重要意义。

## 1 藤花落遗址介绍

本文研究的新石器时代藤花落遗址是 2000 年中国十大考古发展之一<sup>[23]</sup>, 该遗址位于中国江苏省连云港市经济技术开发区中云乡西诸朝村南, 西距新浦 18 km, 北距连云港海岸 7 km。遗址处于南云台山和北云台山之间的谷底冲积平原上, 34°41′00″N, 119°20′30″E, 海拔高度 6~7 m。

考古发现遗址分为内城外城两部分: 外城呈圆角长方形, 由城墙、城壕、城门等组成; 内城位于外城内南部, 由城垣、城外道路、城门和哨所组成; 同时对遗址土壤植物硅酸体测定和众多遗址现象分析认定, 城外和北部外城之间有着保存完好的稻作农业生产区<sup>[24]</sup>。遗址在龙山文化后期逐渐被

收稿日期: 2012-04-05; 修订日期: 2012-06-10

基金项目: 国家自然科学基金(41001047)资助。

作者简介: 周 华(1980-), 男, 贵州贵阳人, 博士研究生, 主要从事土地利用与区域经济发展研究工作。E-mail: bilyhua@163.com

通讯作者: 周生路, 教授, 博导。Email: zhousl@nju.edu.cn



图1 滕花落遗址区位

Fig.1 Location of Tenghualuo Site, Lianyungang

废弃,作为中国进入古文明前最后一个时期,该遗址可以充分反映出中国新石器文化中后期文明情况。有鉴于此,本文在2007年1月18日遗址探方基础上,对龙山文化时期滕花落遗址土壤重金属含量及粒度进行分析,以此还原龙山文化时期中国文明发展过程。

## 2 剖面特征及数据采集分析

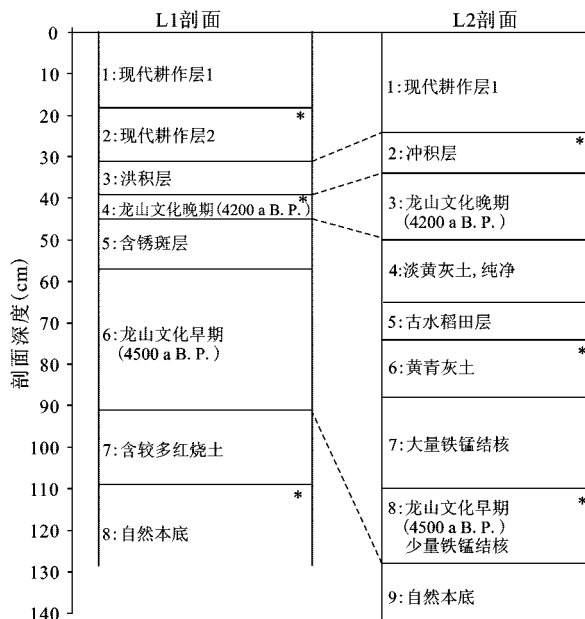
### 2.1 剖面特征

本研究在滕花落遗址挖掘2个土壤剖面,编号L1和L2,两个剖面相聚300 m,其现代土地利用景观一致。经考古判断,L1剖面为生活区,分为8层;L2剖面为稻田生产区,分9层。

L1剖面中38~44 cm层,5~90 cm层及90~108 cm层均为龙山文化层,层位中发现龙山文化的标志红烧土,其中38~44 cm为龙山文化晚期,56~90 cm为龙山文化早期。L2剖面未发现明显文化层标志,5层发现粳稻稻谷颗粒,7层含有大量铁锰结核,有较明显的水稻土潜育层特征。两剖面经AMS<sup>14</sup>C(北京大学重离子物理研究所测定),文化层时代在4 500~4 200 a B.P.之间。

### 2.2 样品处理

根据地层划定,每个地层均匀采集土壤并混合,作为地层样品。两个剖面共采集土壤样品17个。粒度测试是在南京大学海岸带与海岛开发教育部重点实验室进行,用英国马尔文仪器有限公司生产的Malvern 2000激光粒度分析仪进行分析,测试量程为0.02~2 000 μm;Ni、Cr、Cu、Pb、Zn、Ti等元素采用三酸(HF-HNO<sub>3</sub>-NClO<sub>4</sub>)消化法制备待测液,采用电感耦合高频等离子体发射光谱法(ICP-AES)测定。空白、土壤国家标准参比物质(GBW-07405)同时进行,以确保精度。



\*表示该层具有不同组分来源

图2 L1和L2剖面比较及地层埋藏深度

Fig.2 Comparison of profiles L1 and L2 and their depth

## 3 结果与讨论

### 3.1 重金属累积比较

为减少重金属沉淀过程中粒度、来源及矿物组成变异影响,本研究以Ti为参考元素进行归一化处理<sup>[25-27]</sup>,归一化前后结果见图3。

图3可见,经过Ti元素归一化后,L1剖面变化较为明显,而L2剖面无显著变化。两个剖面的各地层中,Ni和Cr元素均无明显富集现象;Cu、Pb和Zn元素在两剖面的现代耕作层均有富集现象发生,而在龙山文化层仅在生活区L1剖面发生明显富集现象,表明现代人类活动对土壤重金属含量影响已远超人类生活区域,在4 500 a B.P.史前文明阶段,土壤重金属富集只出现在人类社会活动密集的生活区,仅300 m外的农业生产区就已无明显影响。进一步分析发现,Cu、Pb和Zn元素在龙山文化时期土壤中含量呈文化初期快速富集,后含量逐渐降低变化态势,这与滕花落遗址逐渐衰落并消亡的时间及空间相吻合,说明4 500 a B.P.,滕花落文明出现之初,人类活动就已经对土壤重金属富集产生影响,但随着文明的衰落,人类活动的减少,这种影响也逐渐降低。

进一步计算2剖面龙山文化地层归一后元素间相关性(表1)。

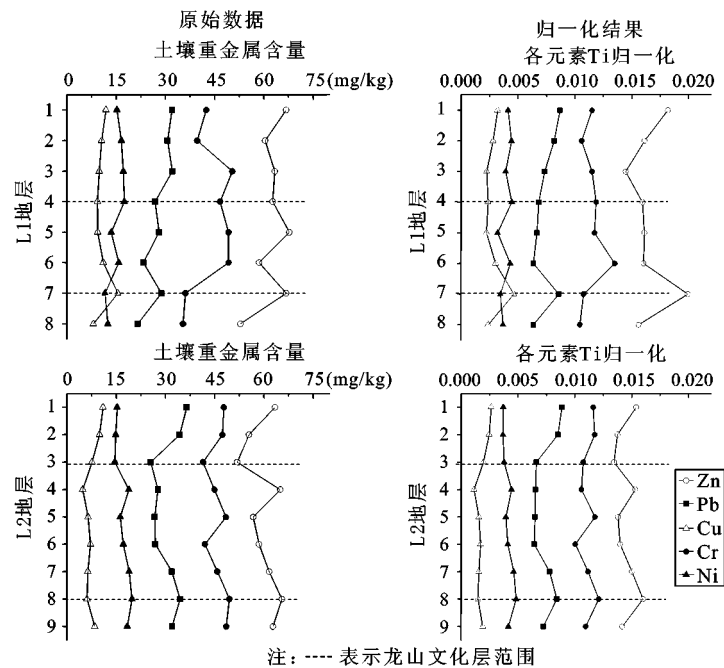


图3 滕花落遗址生活区(L1)及农业生产区(L2)土壤重金属对比

Fig.3 Comparison of heavy metals of living area (L1) and agricultural production area (L2) in Tenghualuo site

表1 各剖面龙山文化层土壤重金属归一后相关性比较

Table 1 Compariation of correlationships of soils heavy metals value after Ti normalization in each profiles in Longshan cultural layers

| 元素    | 剖 面   |       |        |        |       |        |       |        |       |       |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|       | L1    |       |        |        |       | L2     |       |        |       |       |
|       | Ni/Ti | Cr/Ti | Cu/Ti  | Pb/Ti  | Zn/Ti | Ni/Ti  | Cr/Ti | Cu/Ti  | Pb/Ti | Zn/Ti |
| Ni/Ti | 1     |       |        |        |       | 1      |       |        |       |       |
| Cr/Ti | 0.45  | 1     |        |        |       | 0.224  | 1     |        |       |       |
| Cu/Ti | 0.267 | 0.067 | 1      |        |       | -0.564 | 0.188 | 1      |       |       |
| Pb/Ti | 0.15  | -0.15 | 0.567  | 1      |       | 0.018  | 0.539 | 0.248  | 1     |       |
| Zn/Ti | 0.2   | 0.183 | 0.767* | 0.667* | 1     | 0.564  | 0.261 | -0.285 | 0.479 | 1     |

\*显著性通过0.05水平检验。

L1剖面中Cu与Zn、Pb与Zn相关性显著, $R$ 值分别为0.767和0.667,且通过显著性检验;L2剖面各元素间相关性不明显,虽然Zn和Ni、Pb和Cr元素虽然相关性数值较高,但均未通过检验,说明L2剖面各元素间同源性并不显著。考古发现,除了滕花落遗址时期外,该地区并没有明显的人类聚居生活痕迹,说明Cu、Pb、Zn元素土壤富集在龙山文化时期就已出现,且Zn元素与Cu、Pb元素有同源性。

### 3.2 富集指数分析

在Ti(下式表示为 $T_{Ti}$ )元素归一基础上,进一步计算各元素富集指数EF(下式表示为 $E_{EF}$ ),以判断人类活动对土壤重金属富集影响。计算公式如下:

$$E_{EF}=(M/T_{Ti})_s/(M/T_{Ti})_b$$

式中, $(M/T_{Ti})_s$ 为样品中 $M$ 元素与样品中 $Ti$ 的比值, $(M/T_{Ti})_b$ 为背景值中 $M$ 元素与样品中 $Ti$ 的比值。已有研究认为,当 $EF\approx 1$ 时,土壤重金属来自成土母质<sup>[14,28]</sup>。由于成土母质多样性与复杂性,土壤重金属自然背景值下的富集指数EF应有不同取值范围,而不能用近似等于1来涵盖。本文在江苏省土壤元素地球化学基准值成果基础上<sup>[29]</sup>,分别计算了Ni、Cr、Cu、Pb和Zn自然背景下EF取值范围,定义公式为:

$$E_{EF_{bmax}}=\text{Max}\left[\frac{(M_{Ti_b}+2M_{SD})/(T_{Ti_b}+2T_{Ti_{SD}})}{M_b/T_{Ti_b}},\frac{(M_b-2M_{SD})/(T_{Ti_b}-2T_{Ti_{SD}})}{M_b/T_{Ti_b}}\right]$$

$$E_{EF_{bmin}} = \text{Min} \left[ \frac{(M_b + 2M_{SD}) / (T_{Ti_b} + 2T_{Ti_{SD}})}{M_b / T_{Ti_b}}, \frac{(M_b - 2M_{SD}) / (T_{Ti_b} - 2T_{Ti_{SD}})}{M_b / T_{Ti_b}} \right]$$

$E_{EF_{bmax}}$  为自然背景值中 EF 上限,  $E_{EF_{bmin}}$  为自然背景值中 EF 下限,  $M_b$  为 M 元素基准值,  $M_{SD}$  为 M 元素基准值标准差,  $T_{Ti_b}$  为  $T_{Ti}$  元素基准值,  $T_{Ti_{SD}}$  为  $T_{Ti}$  元素基准值标准差(表2)。

表2 江苏省5种元素基准值、标准差及自然背景下EF范围

Table 2 The reference value, standard deviation and value range of enrichment factor in background of the 6 elements

| 元素 | 基准值(mg/kg)* | 标准差(mg/kg)* | EF <sub>bmax</sub> | EF <sub>bmin</sub> |
|----|-------------|-------------|--------------------|--------------------|
| Ni | 32.8        | 9           | 1.19               | 0.65               |
| Cr | 75.6        | 3           | 1.32               | 0.83               |
| Cu | 23.4        | 7.2         | 1.24               | 0.55               |
| Pb | 22          | 6           | 1.19               | 0.65               |
| Zn | 64.8        | 15.1        | 1.13               | 0.76               |
| Ti | 4564        | 688         | -                  | -                  |

\*数据来自文献<sup>[29]</sup>; EF 为无量纲数据。

图4为两个剖面各元素EF值对比。结果表明, Ni、Cr元素在两个剖面没有明显的富集现象, 各地层EF值均在自然背景值波动范围内, 说明这两种元素在该地区人为来源不显著, 史前人类活动亦无明显的 Ni、Cr元素使用现象; Cu、Pb和Zn

元素在史前文明诞生初期的生活区富集指数增长较快, 其中Cu富集指数最高, 为1.91, Pb次之, 为1.35, Zn最低, 达1.29。研究表明, 4 500 a B.P.前后中国已进入铜石并用时代<sup>[30]</sup>, 这时期出土铜器中含Zn为20%~26%, 含Pb为1%~6%<sup>[31]</sup>。藤花落遗址文化地层三种重金属富集及其相关性说明, 当时可能已经出现了铜器加工及使用, 4 500 a B.P., 中国东部海岱地区已进入铜石并用时代。进一步对比两个剖面发现, 文化层中重金属富集仅局限于城市生活区, 农业生产区无明显累积发生; 而现代耕作层中Cu、Pb和Zn发生明显富集, 与龙山文化时期相比, 现代农业环境中重金属累积已经达到或超过史前文明城市重金属富集水平, 现代人类活动使远离人类活动地区亦出现重金属富集, 其影响范围和程度超过史前文明人类聚居带来的影响。

另外, L1剖面龙山文化层Cu、Pb和Zn三种元素EF值逐渐降低说明人类活动逐渐减少, 藤花落遗址逐渐衰落。已有研究发现4 000 a B.P.前后曾出现过洪水与干冷接踵组合出现事件导致了龙山文化消亡<sup>[21,32-34]</sup>, 藤花落遗址衰落时间正好与此叠合, 是否因为自然因素变迁影响人类文明发展从而导致文化层土壤重金属富集发生变化, 要进一步研究考证。本研究通过土壤粒度变化进行分析。

3.3 土壤组分来源分离

同源土壤粒度组成的频数分布通常符合正态

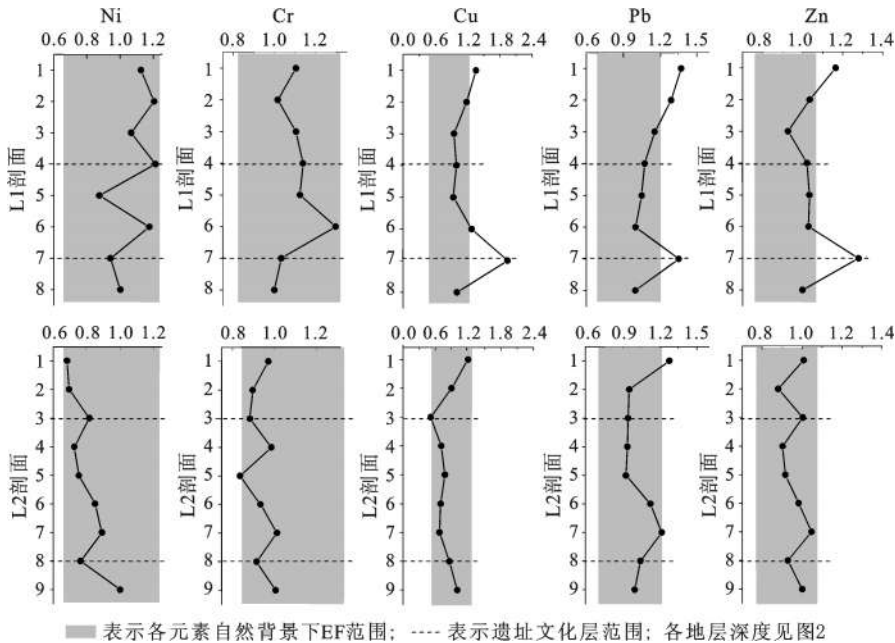


图4 两剖面各元素含量与背景值归一化后比较

Fig.4 Comparison of concentration and background value after Ti normalization of each element in two profiles

分布或对数正态分布特征,而正态分布情况下概率累积曲线为一条直线,通过概率累积曲线不仅可以判别是否符合正态分布特征(图5),而且通过其拐点,在一定程度上能够揭示土壤成土母质的物质来源特征。通过成土母质分离,可以为环境变迁提供证据支持。

对2个剖面各地层土壤粒度组成的概率累积曲线分析发现,17个地层中有6个概率累积曲线均存在1个明显拐点,分别是生活区(L1)剖面第2、4、8层及生产区(L2)剖面第2、6、8层(见图2),说明这6个地层所处时期成土母质有2个来源组份。根据李兰研究,4 500~4 200 a B.P.该地区曾经历较长期的陆地水患事件<sup>[22]</sup>,因此判断不同母质分别为残积物母质和洪积物母质。利用不同来源组份的数学分析方法,设定正态分布函数为不同组份的原函数,根据最小二乘法拟合,分离不同的成土母质来源组份,方法及参数意义详见文献[35]。对L1剖面中3个层成土母质分离, $R^2$ 的最小值高达0.984 2,L2剖面中3个层成土母质具分离, $R^2$ 最小值高达0.966 4,均通过F的显著性检验。

结果显示,L1剖面第2、4、8层土壤母质中,残积物母质比重分别为94%,89%和32%,洪积物母质比重分别为6%,11%和68%;L2剖面第2、6、8层土壤母质中,残积物母质比重分别为94%,70%和97%,洪积物母质比重分别为6%,30%和3%。

对比两剖面母质不同来源发生时期可见,在龙山文化时期,L1剖面并未发生明显洪积物入侵,而L2剖面有2个时期出现过洪积物入侵。结合藤

花落遗址考古结果,推测由于城墙、壕沟等城市防御体系存在,当陆地水患事件发生时,减少或避免了事件对人类生活区影响,因此遗址存在时期,城市生活区土壤中并未出现洪积物;而农业生产区处于自然环境状态,并无明显的保护体系,环境变化对其影响显著。4 500 a B.P.左右洪积物比重仅占3%,说明陆地水患事件并不严重,甚至可能带来大量肥沃土壤,使得以农业为主的龙山文化得以发展<sup>[36]</sup>;而龙山文化中后期洪积物比重达到30%,表明曾发生过大规模或长时间陆地水患事件,导致当时农业生产条件受到严重破坏,对龙山文化带来毁灭性打击,最终导致人类活动逐渐减少,文明逐渐消亡。这与李兰利用Rb-Sr分析结果相一致<sup>[22]</sup>,说明藤花落遗址衰落是自然环境变迁结果。

## 4 结 论

藤花落遗址剖面重金属分析表明,在史前文明时期人类活动就已经产生土壤重金属累积,但仅局限于城市生活区,随着文明的衰落和湮灭,这一影响逐渐减弱,在文明存在中后期,人类活动对土壤重金属累积影响已不明显;而近郊农业生产区土壤重金属含量一直处于自然背景值范围,人类活动对其无显著影响。

几种重金属中,Cu、Pb、Zn元素受人类活动影响显著,且Cu与Zn,Pb与Zn具有一定同源性,结合同时期青铜器考古结果,确定龙山文化时期已经出现了铜石并用现象,江苏北部海岱地区出现青铜器时代雏形。

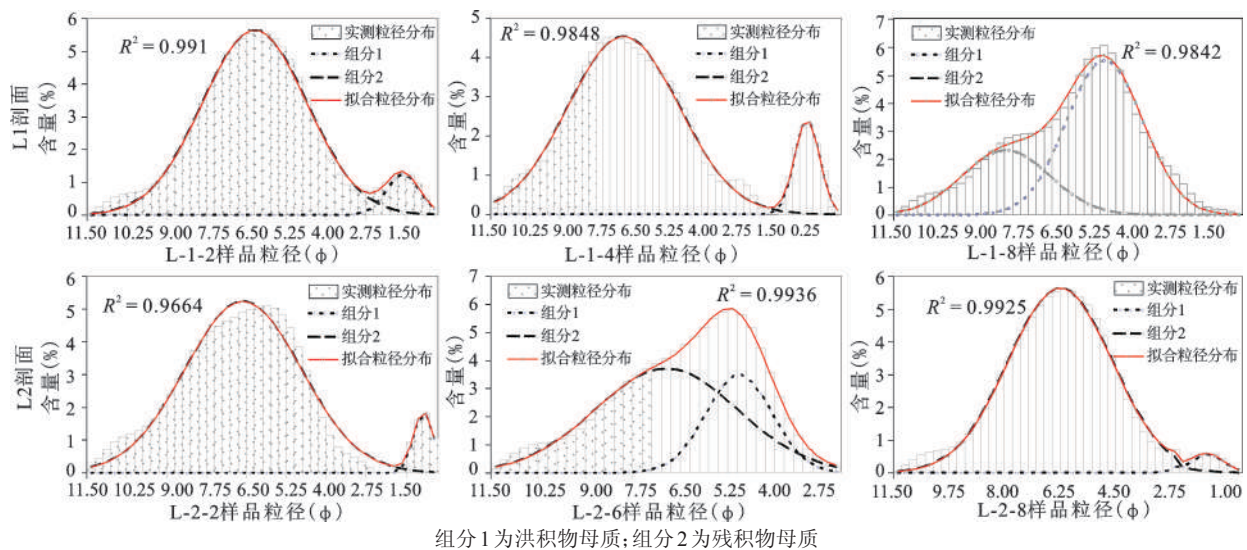


图5 各地层不同母质来源土壤粒度组份频数密度函数分离

Fig. 5 Separation of the function of frequency density of different source components

土壤粒度分析表明, 4 500~4 200 a B.P. 藤花落遗址曾出现过大规模或长时间水患事件, 由于受到城墙壕沟等城市防御体系保护, 水患事件对人类生活区域无明显影响, 但却对农业生产条件带来严重破坏, 最终导致藤花落文明走向衰落。

土壤重金属变化反映文明兴衰, 而土壤粒度分析则可以表征当时自然环境变迁。结合两者结果可发现, 龙山文化时期人类社会的出现与繁荣恰逢自然环境相对良好时期, 文明衰落与消亡正好对应自然环境发生变迁阶段。虽然当时已经有一定规模的城市保护系统, 使自然环境变迁对人类生活区域影响减弱, 但文明赖以生存的农业生产仍然受自然环境变迁影响明显。4 500 a B.P. 左右龙山文化时期, 自然环境变迁是通过影响农业生产的兴衰而导致文明的兴盛与湮灭。

## 参考文献:

- [1] Walkington H. Soil science applications in archaeological contexts: A review of key challenges[J]. *Earth-Science Reviews*, 2010, **103**(3-4): 122-134.
- [2] Wilson C A, Davidson D A, Cresser M S. Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation[J]. 2008, (35): 412-424.
- [3] 舒 强, 赵志军, 陈 晔, 等. 江苏兴化 DS 浅孔沉积物地球化学元素与粒度所揭示的古环境意[J]. *地理科学*, 2009, **29**(6): 923-928.
- [4] 王心源, 吴 立, 张广胜, 等. 安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义[J]. *地理科学*, 2008, **28**(4): 548-553.
- [5] Nyder W S, Cook M J, Nasset E S, et al. Report of the task group on reference man. International Commission on Radiological Protection No 23[M]. Oxford: Pergamon Press, 1975.
- [6] Alexandrovskaya E I, Alexandrovskiy A L. History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it[J]. *Catena*, 2000, **41**(1-3): 249-259.
- [7] Hong S, Candelone J, Patterson C C. History of Ancient Copper Smelting Pollution During Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice[J]. *Science*, 1996, **272**: 246-249.
- [8] Leyden B W, Brenner M, Dahlin B H. Cultural and Climatic History of Coba', a Lowland Maya City in Quintana Roo, Mexico[J]. *Quaternary Research*, 1998, **49**: 111-122.
- [9] Oonk S, Slomp C P, Huisman D J. Geochemistry as an Aid in Archaeological Prospection and Site Interpretation: Current Issues and Research Directions[J]. *Archaeol Prospect* 2009, **16**: 35-51.
- [10] Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China[J]. *Microchemical Journal*, 2010, **94**: 99-107.
- [11] 廖富强. 苏北沿海滩涂土壤性质和景观格局时空变化研究[D]. 南京: 南京大学博士论文, 2008.
- [12] 吴绍华, 周生路, 张红富, 等. 经济发展梯度影响下的江苏农用地土壤重金属含量分布格局[J]. *地理科学*, 2008, **28**(3): 412-418.
- [13] Hong S, Candelone J, Patterson C C. Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution Two Millennia Ago by Greek and Roman Civilizations[J]. *Science*, 1994, **265**: 1841-1843.
- [14] Hu X, Wang C, Zou L. Characteristics of heavy metals and Pb isotopic signatures in sediment cores collected from typical urban shallow lakes in Nanjing, China[J]. *Journal of Environmental Management*. 2011, **92**: 742-748.
- [15] Vesely J. The history of metal pollution recorded in the sediments of Bohemian Forest lakes: Since the Bronze Age to the present[J]. *Silva Gabreta*, 2000, **4**: 147-166.
- [16] 李月芳, 姚檀栋, 王宁练, 等. 帕米尔东部慕士塔格冰芯 Sb 浓度变化记录揭示的近 50a 来中亚区域人类活动[J]. *冰川冻土*, 2008, **30**(6): 359-364.
- [17] Luo X, Yu S, Zhu Y, et al. Trace metal contamination in urban soils of China[J/OL]. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.04.020
- [18] Maisto G, Alfani A, Baldantoni D, et al. Trace metals in the soil and in *Quercus ilex* L. leaves at anthropic and remote sites of the Campania Region of Italy[J]. *Geoderma*, 2004, **122**(2-4): 269-279.
- [19] 张丽萍, 王小云, 张赫斯. 沙盖黄土丘陵坡地土壤理化特性随地形变化规律研究[J]. *地理科学*, 2011, **31**(02): 78-183.
- [20] 韩桂红, 塔西甫拉提·特依拜, 买买提·沙吾提, 等. 渭-库绿洲地下水对土壤盐渍化和其逆向演替过程的影响[J]. *地理科学*, 2012, **32**(3): 362-367.
- [21] 吴文祥, 刘东生. 4 000 a B.P. 前后东亚季风变迁与中原周围地区新石器文化的衰落[J]. *第四纪研究*, 2004, **24**(3): 278-284.
- [22] 李 兰, 朱 诚, 姜逢清, 等. 连云港藤花落遗址消亡成因研究[J]. *科学通报*, 2008, (53): 139-152.
- [23] 涂烦子. 连云港藤花落遗址考古新发现[J]. *江苏地方志*, 2004, (3): 32.
- [24] 周润星, 李洪波, 张浩林, 等. 2003~2004 年连云港藤花落遗址发掘收获[J]. *东南文化*, 2005, (3): 15-19.
- [25] Summers J, Wade T, Engle V. Normalization of metal concentrations in estuarine sediments from the Gulf of Mexico[J]. *Estuaries*, 1996, **19**: 581-594.
- [26] Wu S, Zhou S, Li X, et al. Heavy-metal accumulation trends in Yixing, China: an area of rapid economic development[J]. *Environ Earth Sci*, 2010, **61**: 79-86.
- [27] Zhang H, Shan B. Historical records of heavy metal accumulation in sediments and the relationship with agricultural intensification in the Yangtze-Huaihe region, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, **339**: 113-120.
- [28] Kabata-Pendias A, Mukherjee A. Trace elements from soil to human[M]. Berlin: Springer, 2007: 267-276.
- [29] 廖启林, 刘 聪, 许 艳, 等. 江苏省土壤元素地球化学基准值[J]. *中国地质*, 2010, **38**(5): 1363-1378.
- [30] 徐利斌, 孙立广, 张居中, 等. 公元前 2500 年: 中国进入铜石并用

- 时代的汞记录[J].第四纪研究,2008,**28**(6):1070~1080.
- [31] 路迪民.论中国铜石并用时代和青铜器时代的分期[J].西安建筑科技大学学报,1999,**18**(1):47~51.
- [32] 陈栋栋,彭淑贞,张 伟,等.山东全新世典型气候事件的区域响应及其对海岱文明发展的影响[J].地理科学进展,2011,**18**(7):846~852.
- [33] 张 冉,刘晓东.中全新世暖期与未来气候变暖情景下东亚夏季降水变化相似型分析[J].地理科学,2009, **29**(5): 679~683.
- [34] 王 军,高红山,潘保田,等.早全新世沙沟河古洪水沉积及其对气候变化的响应[J].地理科学,2010,**30**(6):943~949.
- [35] 吴绍华,周生路,杨得志,等.宜兴市近郊土壤重金属来源与空间分布研究[J].科学通报,2008,**53**(增刊 I):162~170.
- [36] Zhang G,Zhu C,Wang J,et al.Environmental archaeology on Longshan Culture (45 00-4 000 a B.P.) at Yuhuicun Site in Bengbu, Anhui Province[J].J.Geogr.Sci.,2010,**20**(3):455-468.

## Characteristics of Soil Grain Size and Heavy-metal Accumulation of the Tenghualuo Site in Lianyungang, Jiangsu Province

ZHOU Hua<sup>1</sup>, LIAO Fu-qiang<sup>2</sup>, XU Ming-xing<sup>3</sup>, ZHOU Sheng-lu<sup>1</sup>, WU Shao-hua<sup>1</sup>

(1.School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093,China;

2.School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022,China ;

3.Shaking Institute of Geological Survey, Hangzhou, Zhejiang 311203,China)

**Abstract:** The Neolithic Tenghualuo Site in Lianyungang, which belongs to Longshan period, is the first prehistory city of China with both inner and outer structure ever been discovered. According to the analysis on the heavy-metal accumulation and grain size of profile(L1) and agricultural production area profile(L2) in the city residential area, respectively, it was found that anthropogenic-related accumulation of heavy metals in soil already had occurred in Longshan period, but only appeared in the city residential area. Cu, Pb and Zn accumulated the most obvious, whose enrichment factor values are 1.91, 1.35 and 1.29 respectively. Compared with the discovery of bronze archaeology, it can be sure that Tenghualuo Site has been in Chalcolithic Age. Meanwhile, the research of soil grain size based on soil source components separation method revealed that the soil in residential area had relatively unique parent material because of city protection during 4 500-4 200 a B.P., large-scale or prolonged flooding events have occurred in agricultural production area during this period, by which the proportion of diluvium was 30%, and this may destroy agricultural production condition, and causes the heavy-metal accumulation decline, eventually lead to the entire civilization disappeared. The findings above show that although the city can protect original society, the changes of natural environment still have decisive influence on original agricultural production, which finally decided the vicissitude of prehistoric civilization.

**Key words:** Tenghualuo Site; Longshan culture; heavy-metal accumulation; grain size; Jiangsu province