

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2017.0502

陈璞皎, 郑祥民, 周立旻, 等. 宁镇地区下蜀黄土粒度特征及其古环境意义[J]. 地质科技情报, 2017, 36(5): 7-13.

宁镇地区下蜀黄土粒度特征及其古环境意义

陈璞皎, 郑祥民, 周立旻, 刘 峰

(华东师范大学地理科学学院地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241)

摘 要:黄土的粒径对于反映古季风强度变化、物源区环境变迁和黄土沉积后改造作用等具有重要的意义。中国东部宁镇地区位于东亚冬、夏季风交汇地带, 在晚第四纪普遍发育下蜀黄土, 它是研究东亚气候及季风演化的良好载体。对南京周家山、镇江圔山典型下蜀黄土剖面进行了系统的粒度特征分析, 结果表明下蜀黄土风尘沉积是由“近源”粗颗粒物质和“远源”细颗粒物质共同作用的产物。周家山剖面粒度组分含量变化记录指示了下蜀黄土所经历的古气候环境较之西北黄土更为暖湿, 经历了较之更强的后期风化成壤作用, 大致上经历了2次完整的干冷—暖湿气候旋回。

关键词:下蜀黄土; 粒度; 风尘沉积; 宁镇地区

中图分类号: P588.23

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2017)05-0007-07

中国北方黄土高原保存完整的风尘沉积序列是研究第四纪气候演化的良好载体^[1]。下蜀黄土作为我国长江中下游地区广泛分布的第四纪黄土状堆积物, 被普遍认为是黄土风尘沉积在我国东部的延伸, 同样是我国第四纪黄土研究不可缺少的组成部分, 包含了大量的古气候变化信息, 对于认识晚第四纪以来的东亚冬、夏季风的演化以及区域环境对全球气候变化的响应有着重要意义^[2-7]。

通过大量研究, 前人已对下蜀黄土的沉积年代、沉积环境、成因、物源有了较深入的认识^[2-11]。对于下蜀黄土物源的研究一直是下蜀黄土研究的热点问题之一, 一种观点认为下蜀黄土物质来源为“远源”, 风尘沉积主要来自中国西北内陆和黄土高原地区, 是黄土沉积在中国东部的延伸^[2,8-9]。另一种观点则认为下蜀黄土物质主要来源于干冷时期裸露的河漫滩、冲积平原及陆架松散沉积物, “近源”物质不容忽视^[10-12]。另外, 前人对山东半岛地区黄土沉积的研究发现, 不同地区黄土特征存在明显差异, 指示了物源的多样性, 既有来自西北内陆“远源”组分, 也有当地河流、海滩沉积物“近源”组分^[13-14]。

研究表明, 黄土—古土壤沉积序列的粒度特征早已被证明是记录第四纪以来沉积区环境及东亚季风演变历史的良好指标之一。粒度特征本质上可以反映搬运营力、搬运方式以及沉积环境的变化。

李徐生等^[2]通过对镇江下蜀黄土粒度特征分析指出下蜀黄土与西北黄土同为风尘沉积的产物。大气动力学研究^[15]表明, 虽然同为风尘沉积, 不同粒级组分的风尘颗粒的搬运距离和搬运方式存在显著区别。对于粉砂组分(5~50 μm), 其搬运动力主要是较为强劲的低空气流, 搬运方式为短距离(百公里级)悬移与跃移, 其传输高度范围多为几百米至一千米的低空, 并随风力大小和搬运距离对不同粒级组分进行分选; 与之相比, 更细的黏粒组分(<5 μm)主要以长距离悬浮的搬运形式在千米以上的高度通过高空气流进行传输, 只有当风力明显减小或随降水才可沉降, 该方式的分选程度明显差于前者。通过分析两种粒级组分在粒度分布中表现出的明显差异, 有助于更好地判别研究区域风尘沉积的物质来源, 结合其他指标(磁化率等)可更深入地了解区域环境演变。

为此, 笔者将通过对南京周家山、镇江圔山2个下蜀黄土剖面进行系统的粒度特征分析, 进而探讨中国东部宁镇地区下蜀黄土风尘沉积物质来源及搬运方式和不同粒级组分含量所记录和指示的古气候信息。

1 样品与方法

1.1 研究区及剖面概况

研究区位于中国东部长江中下游地区, 宁镇山

收稿日期: 2017-05-14

编辑: 刘江霞

基金项目: 国家自然科学基金项目(J1310028; 41371032)

作者简介: 陈璞皎(1988—), 男, 现正攻读第四纪地质专业博士学位, 主要从事第四纪环境演变研究工作。E-mail: chenpujiao123@126.com

通信作者: 郑祥民(1959—), 男, 教授, 主要从事第四纪环境演变研究工作。E-mail: xmzheng@re.ecnu.edu.cn

脉北部,年均气温为 $15.4 \sim 15.6^{\circ}\text{C}$,年降水量在 $1\,100 \sim 1\,200\text{ mm}$,属于亚热带季风气候。笔者选取的 2 个下蜀黄土剖面均位于长江南岸(图 1),南京周家山剖面($32.15^{\circ}\text{N}, 118.88^{\circ}\text{E}$)位于南京市栖霞区,北距长江约 1.2 km ,邻近前人研究的老虎山剖面($32.10^{\circ}\text{N}, 118.10^{\circ}\text{E}$)^[16],属于典型下蜀黄土沉积区。剖面长度共 6.1 m ,整体呈现黄棕色、黄褐色,底部出露河湖相砾石层。根据野外观测将剖面分为 5 层,自上而下依次为 L_a, S_a, L_b, S_b 和 L_c (表 1)。镇江圖山剖面($32.18^{\circ}\text{N}, 119.70^{\circ}\text{E}$)位于镇江市圖山西麓,北距长江约 3.5 km ,邻近前人研究的大港剖面($32.20^{\circ}\text{N}, 119.65^{\circ}\text{E}$)^[2]。该剖面地表出露长度共计 11 m ,顶部 30 cm 为现代土壤扰动层,人为改造痕迹明显,其下 10.7 m 为下蜀黄土—古土壤沉积序列,整体呈现黄棕色、黄褐色。根据野外观察,可分为 7 层,详见表 2。

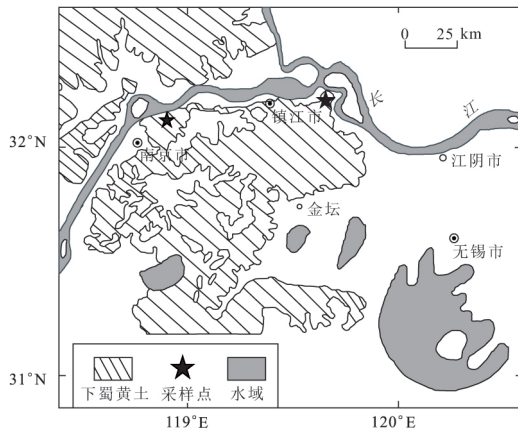


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of sampling sites

表 1 南京周家山剖面形态地层特征

Table 1 Stratigraphic characteristics of Nanjing Zhoujiashan profile

地层符号	深度/cm	颜色	特征描述
L_a	0~70	黄棕色	少量植物根系
S_a	70~200	黄褐色	无植物根系,颗粒较细,均质块状
L_b	200~360	黄棕色	无植物根系,少量钙质结核
S_b	360~470	黄褐色	无植物根系,颗粒细,上下层渐变接触
L_c	470~600	黄棕色	无植物根系,颗粒较粗,均质块状

1.2 样品采集与分析方法

南京周家山剖面和镇江圖山剖面均按等距(10 cm)间隔采样,分别获得 61 个和 107 个样品。所有样品经 30°C 恒温烘干,进行粒度组成分析测试。根据鹿化煜等^[17]的前处理方法,依次用 $10\%\text{ H}_2\text{O}_2$ 、 $10\%\text{ HCl}$ 去除有机质和碳酸钙,该方法能有效排除沉积后成壤作用的影响。测试仪器采用 Malvern 公司 Mastersizer 2000 型激光粒度仪,测试范围为

$0.01 \sim 2\,000\text{ }\mu\text{m}$,测试误差 $<2\%$ 。周家山剖面底部样品年龄为 $(350 \pm 24.5)\text{ ka}$ ^[18]。

表 2 镇江圖山剖面形态地层特征

Table 2 Stratigraphic characteristics of Zhenjiang Chuishan profile

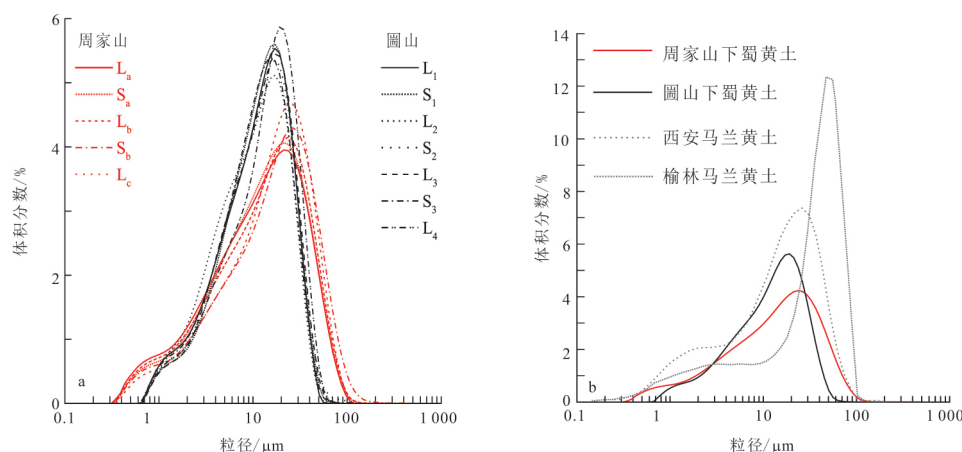
地层符号	深度/cm	颜色	特征描述
L_1	0~70	黄棕色	含有机质,结构致密
S_1	70~190	黄褐色	含铁锰结核,结构致密
L_2	190~250	黄棕色	含有机质
S_2	250~340	黄褐色	含铁锰结核,结构致密
L_3	340~380	黄褐色	含铁锰结核,结构致密
S_3	380~460	黄褐色,偏深红	含铁锰胶膜
$L_4 L_1$	460~540	黄棕色	结构致密,含有机质
$L_4 S_1$	540~670	黄棕色,偏红,灰白色斑块	含有机质,多灰白色斑块
$L_4 L_2$	670~910	黄棕色,灰白色斑块	灰白色斑块,结构致密
$L_4 S_2$	910~1\,070	黄棕色	含有机质,结构致密

2 结果与讨论

2.1 南京周家山与镇江圖山下蜀黄土粒度分布特征

粒度频率分布曲线表示各粒级组分的百分含量,可直观地反映沉积物众数粒径分布、峰值个数以及在峰值两侧的颗粒物分布状况等信息。因此,通过粒度频率曲线可以判别各组分相应的物源及搬运方式^[19-20]。

由图 2 可见,周家山、圖山下蜀黄土剖面的粒度频率分布曲线整体形态存在明显差异,但是同剖面不同层位的样品粒度频率分布变化不大,具有较好的一致性。总体上,周家山剖面黄土频率分布较宽、峰值较低、众数值偏粗;圖山剖面频率分布较窄,峰值较高、众数值较小。众数值在 2 个剖面略有不同,圖山剖面众数值偏细,约在 $17\text{ }\mu\text{m}$,峰值接近 6% ,在粒度分布曲线众数值的右侧相对光滑,而左侧曲线分别在 $4 \sim 8\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1 \sim 2\text{ }\mu\text{m}$ 附近出现 2 个“平台”,即次峰;与之相比,周家山剖面粒度分布曲线的众数值要明显偏粗,约为 $26\text{ }\mu\text{m}$,且众数值峰值也较低,约 4% 。与圖山剖面相同,周家山剖面众数值右侧曲线光滑,左侧细粒级组分的次峰分别出现在 $4 \sim 8\text{ }\mu\text{m}$ 和 $0.3 \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ 范围内。值得注意的是,相比圖山剖面,周家山剖面在 $<1\text{ }\mu\text{m}$ 细颗粒组分含量明显偏高,细颗粒组分约从 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 开始出现累积,且 $>50\text{ }\mu\text{m}$ 的粗颗粒组分含量也较多。大气动力学研究^[15]表明,砂粒组分由于较粗的粒径,通常仅能以短距离悬移或跃移方式进行搬运,这表明周家山剖面接受了更多“近源”粗颗粒物质。孙东怀等^[20]认为沉积区域地貌位置对风成沉积物中粗颗粒组分含量有显著影响,因此 2 个剖面粒度分布的差异可能是由于 2 个剖面所处的局地地形不同,周家山近地表能够产生更强的风动力,进而接受了更多来自河



a. 周家山、镇江圖山各层位粒度频率分布; b. 周家山、圖山下蜀黄土与西北黄土的粒度频率分布曲线对比图

图2 南京周家山、镇江圖山下蜀黄土及西安、榆林马兰黄土^[20]粒度频率分布曲线

Fig. 2 Grain size frequency distribution curves of the Xiashu loess in Nanjing-Zhenjiang area(a), the comparison of grain size frequency distribution curves between Xiashu Loess and Malan loess in the Northwest China(b)

谷漫滩等近源的粗颗粒物所致。

2个剖面粒度分布均呈三峰分布特征,主峰的粒径范围在 $17\sim 26\ \mu\text{m}$ 之间,第一个次峰的粒径范围为 $4\sim 8\ \mu\text{m}$,第二个次峰的粒径范围为 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$,这与前人对中国西北黄土、东部岛屿黄土粒度分布特征的研究具有相似性和延续性^[20-21]。2个剖面主峰指示了分选较好的粉砂组分,可能代表了通过冬季风近距离低空悬移搬运的“近源”风尘物质,该组分可以用来指示东亚冬季风的演化^[20]。下蜀黄土主峰与西安马兰黄土的粒径范围基本一致,但明显小于榆林马兰黄土,且分选程度和峰度也显著降低,反映了随着纬度降低,冬季风强度逐渐减弱从而导致粒径逐渐变细。第一个次峰($4\sim 8\ \mu\text{m}$)代表了峰度较低、分选较差的细颗粒组分,该峰态在西北黄土粒度分布中同样存在,且粒径范围更大($2\sim 10\ \mu\text{m}$),该组分很可能是通过高空气流远距离悬浮方式进行搬运,指示了“远源”或者北亚西风环流的某些信息。值得注意的是,第二个次峰($0.5\sim 2\ \mu\text{m}$)在西北黄土粒度分布中并不明显^[20],但我们通过粒度概率累计曲线对比发现(图3),下蜀黄土与东部岛屿黄土、长江中下游金华第四纪红土具有良好一致性^[21-23],均呈三段式特征,在 5ϕ (约 $32\ \mu\text{m}$)和 10ϕ ($1\sim 0.5\ \mu\text{m}$)附近出现粗细2个截点。朱丽东等^[23]指出,粗细2个截点将粒度组分分成3种状态,分别代表了易由风力悬移跃移搬运的“近源”粗粒组分,由粗颗粒裹挟或以高空气流悬浮输送的“远源”挟持组分,以及由化学风化成壤形成的次生细颗粒黏土。东部地区的下蜀黄土经历了相比西北黄土更湿热的环境,后期成土作用明显强于西北黄土^[6,24],周家山及圖山下蜀黄土剖面 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 次

峰很可能反映了沉积后风化成壤作用的影响。我们的研究也表明,对于东部暖湿沉积环境,需要更彻底的粒度前处理方法来排除后期成壤作用对黏粒组分的干扰。

2.2 南京周家山与镇江圖山下蜀黄土粒度组成

为了便于与前人研究进行对比,本研究按照刘东生等^[1]的方法,将下蜀黄土粒级划分为3个部分,砂($>50\ \mu\text{m}$)、粉砂($50\sim 5\ \mu\text{m}$)、黏土($<5\ \mu\text{m}$)。总体上,周家山与圖山剖面表现为:主要组分是粉砂,其次是黏粒组分,砂粒组分占比相对较低(表3)。粉砂组分作为黄土众数粒级,是风尘沉积的“基本粒组”,周家山、圖山剖面全部样品的粒度组成均以粉砂($5\sim 50\ \mu\text{m}$)为主,其中更以粗粉砂($10\sim 50\ \mu\text{m}$)占主要部分,2个剖面粗粉砂组分平均占比均超过了50%,粉砂组分平均占比分别为70.13%和70.8%,与临近的镇江下蜀黄土剖面相一致,略高于

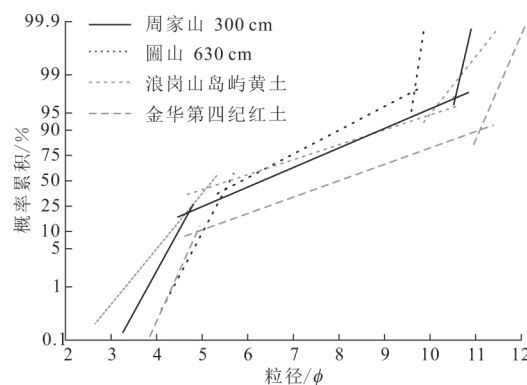


图3 南京周家山、镇江圖山下蜀黄土、浪岗山黄土^[21]及浙江金华第四纪红土^[23]粒度概率累计曲线

Fig. 3 Probability accumulation curves of Xiashu loess, island loess, and subtropical red earth

马兰黄土和东部岛屿风尘沉积^[1-2,25]。周家山和圖山下蜀黄土的黏土组分($<5\ \mu\text{m}$)为次要组成部分,平均占比分别为 21.3%和 19.1%,该组分占比明显小于马兰黄土、东部岛屿黄土及临近的下蜀黄土。周家山和圖山剖面砂($>50\ \mu\text{m}$)组分占比最少,分别为 8.6%和 10.1%。值得注意的是,与中国西北地区马兰黄土(6.8%)和临近下蜀黄土(约 4.5%)相比,本文 2 个剖面砂粒含量相对富集,与东部岛屿风尘沉积(7.1%~13.9%)相近^[21,25]。刘东生^[1]研究显示通常砂粒不易被风力长距离搬运,中国各地黄土中砂粒组分占比多数 $<10\%$ 。宁镇下蜀黄土沉积区处于东亚冬季风南缘地带,即使在干冷时期,亦不太可能通过增强的冬季风将 $>50\ \mu\text{m}$ 的砂粒长距离搬运至中国东部地区。因此,明显增多的砂粒含量以及相应减小的黏粒组分(表 3)很可能指示了与局地沉积地貌相关的近距离粗颗粒沉积,砂粒组分在一些风力可能较大的地区搬运作用明显较强,接受了更多的来自河谷漫滩等“近源”粗颗粒物质。另外,本文 2 个下蜀黄土剖面与前人研究的下蜀黄土^[2,26]相比,虽然粉砂组分均为主要组分,但也存在明显差别(相对较低的黏粒含量和相对较高的砂粒含量),这也指示了下蜀黄土沉积区在接受了来自西北内陆地区广泛的远距离风尘物质的同时,根据局地地形地貌的差异,也不同程度地接受了近源粗颗粒物质。

表 3 各地黄土剖面粒度组成对比

Table 3 Comparison of grain size compositions

采样点	黏粒组分		粉砂组分		砂组分
	比例/%		比例/%		比例/%
	黏粒 $<5\ \mu\text{m}$	细粉砂 $5\sim10\ \mu\text{m}$	粗粉砂 $10\sim50\ \mu\text{m}$	砂 $>50\ \mu\text{m}$	
周家山	21.3	15.6	54.5	8.6	
圖山	19.1	14.8	56.0	10.1	
崂山岛 ^[27]	25.4	16.1	51.2	7.3	
浪岗山 ^[25]	24.9	12.9	48.3	13.9	
镇江大港 ^[2]	28.4	18.0	49.4	4.2	
南京泰山新村 ^[26]	29.6	14.5	51.0	4.9	
洛川马兰黄土 ^[1]	27.4	12.5	53.3	6.8	

从粒度岩性三角图(图 4)中可见,南京周家山与镇江圖山 2 个剖面在粒度分区上近乎重叠,均以风尘黄土的“基本粒组”粉砂为主,其次是黏粒组分,砂粒含量较少,2 个剖面粒度岩性保持了较高的一致性。按照粒度三角分类判别方法^[28]进行分类,2 个剖面下蜀黄土沉积均为粉质黏土沉积物,属于黏黄土带。根据粒度组分相对含量的差异,刘东生^[1]将中国黄土自西向东分为砂黄土带、黄土带、黏黄土带。下蜀黄土与中国西部砂黄土、黄土高原典型黄土沉积具有良好延续关系,体现了通过搬运动力减弱和搬运距离增加对风尘沉积物进行分选的特征规

律,指示了下蜀黄土与西北黄土及东部岛屿黄土基本一致的风尘沉积成因。同时,周家山及圖山下蜀剖面与中国东部的黏黄土带、前人研究的下蜀黄土以及岛屿风尘沉积相比,更富集砂粒,而黏粒组分相应减少(图 4),这很可能是由于局地地形条件有助于堆积更多“近源”粗颗粒物质。

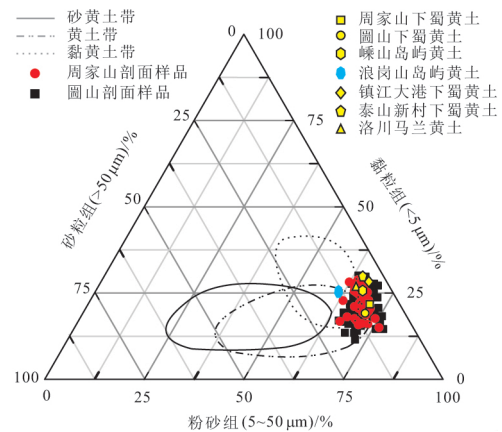


图 4 南京周家山、镇江圖山下蜀黄土粒度岩性三角图

Fig. 4 Triangular diagram of grade content of the Xiashu loess in Nanjing-Zhenjiang area

2.3 周家山剖面粒度与相关参数垂向变化特征及其环境意义

研究表明,不同粒级组分的含量变化对古气候解译也不尽相同^[29-31]。笔者系统分析了下蜀黄土剖面各粒度组分含量的变化,寻找敏感且可靠的粒级组分作为古气候的替代指标,探讨其古环境意义。限于缺少圖山剖面的测年数据,本节仅讨论周家山剖面粒度及相关参数的变化特征。

由图 5-d 可见,周家山剖面砂粒组分($>50\ \mu\text{m}$)整体表现为自上而下逐渐增大,黄土层 L_b 及以上体积分数较低且波动小,保持在 6%左右。自黄土层 L_b 下部以下,砂粒体积分数增多且变幅增大。 $>50\ \mu\text{m}$ 颗粒物很难通过风力进行远距离搬运,即使是在强风暴的条件下也很难进行长距离的搬运^[28],可以用来指示“近源”物质输入量的变化^[32]。因此,该剖面 $>50\ \mu\text{m}$ 组分含量反映了自晚更新世早期以来,下蜀黄土“近源”组分逐渐减少。值得注意的是, $>50\ \mu\text{m}$ 组分在古土壤层 S_b 与 L_c 交界处(深度约 450 cm)出现明显增大,这很可能是受到样品中细颗粒物质胶结未被充分打散的影响。然而不考虑该样品,也可见古土壤层 S_b 比相邻黄土层 L_b 、 L_c 具有更高的砂粒组分含量,这很可能指示了在下蜀黄土堆积区,东亚冬、夏季风具有同强同弱的特征,即:古土壤形成时期,冬、夏季风均显著增强,季节差异更为明显;黄土堆积时期,冬、夏季风均趋于减弱,季节差异缩小。

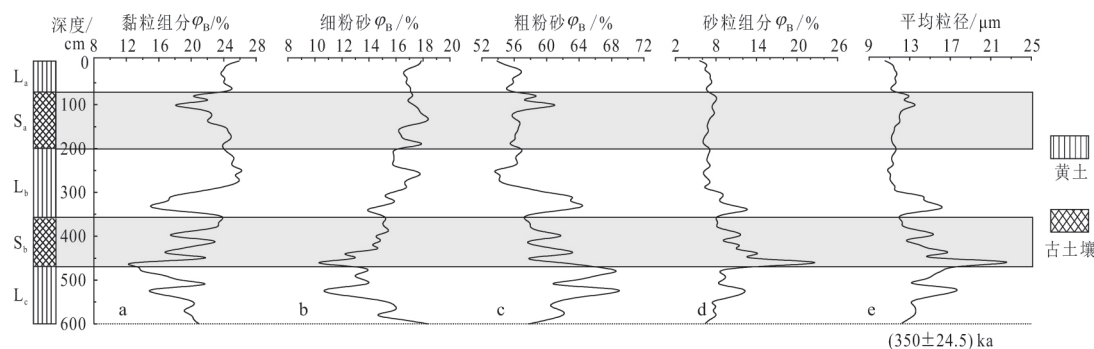


图5 南京周家山下蜀黄土各粒度组分体积分数垂向变化图

Fig. 5 Vertical profiles of grain size of the Xiashu loess on Zhoujiashan

周家山剖面粗粉砂(10~50 μm)(图 5-c)作为风尘物质的“基本粒组”,整体上呈现自上而下逐层递增的趋势,古土壤层体积分数低于其下的黄土层体积分数,波动于 54%~70%之间。由于粉砂组分在一定的风力条件下易被扬起,随风带到下风向的地区,再随风力减弱或受到局地地形条件影响,沉降于地面。该组分体积分数随深度的变化实际上反映了风力搬运作用的大小(即东亚冬季风强度);粉砂组分体积分数高时,反映了风力较大(东亚冬季风强)、粉砂堆积速率加快,是利于黄土层堆积的干—冷气候时期,相反则是风力条件较弱(东亚冬季风弱)、粉砂堆积减少,是利于古土壤发育的暖—湿时期。并且,该剖面粗粉砂(10~50 μm)体积分数与磁化率具有良好一致性^[33-36]。如图 6 所示,周家山剖面粗粉砂(10~50 μm)组分体积分数和磁化率 χ 均呈现 2 个波峰波谷的旋回变化规律,波峰波谷的变化趋势明显,且与黄土—古土壤层位的对应关系良好,即在黄土层出现粗粉砂体积分数高值(磁化率低值),2 个峰(谷)值都落在黄土层 L_b 和 L_c,而在古土壤层出现粗粉砂体积分数低值(磁化率高值)2 个谷(峰)值则落在古土壤层 S_a 和 S_b。因此,下蜀黄土粗粉砂组分体积分数可用作反映中国东部古季风演

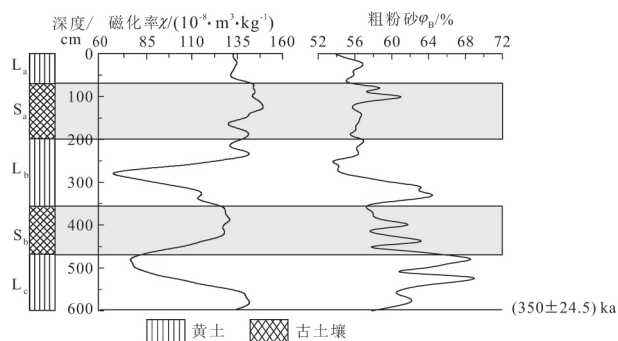


图6 南京周家山磁化率与粗粉砂组分体积分数变化对比图

Fig. 6 Comparison of magnetic susceptibility and grain size of the Zhoujiashan profile

变的良好指标。细粉砂(5~10 μm)组分(图 5-b)被称为风尘物质的“附加组分”,自上而下先减后增,波动于 10%~18%之间,不存在明显的黄土—古土壤波动旋回。

周家山剖面黏粒组分(<5 μm)体积分数自上而下呈逐渐增加趋势,且变化频率与变化幅度均较大,波动于 12%~26%之间,不存在明显的黄土—古土壤波动旋回。下蜀黄土的黏粒组分的来源和成因较为复杂,最为直接的观点是通过风力搬运或大气沉降的方式,但与其他粗颗粒组分不同的是,黏粒组分能通过高空气流进行长距离搬运,反映了高空西风气流的某些信息^[20]。另一种观点认为,由于粒级较小,不易直接被风扬起,而是附着在粗颗粒组分的周围,随着粗颗粒的迁移而迁移^[37]。但是,通过对比周家山剖面黏粒组分和其他粗颗粒组分体积分数,均未发现显著正相关关系,这表明粗颗粒组分体积分数不是黏粒组分的主要成因。第三种观点认为,黏粒组分是风成沉积物在沉积后经历了风化成壤作用的产物^[38-39]。位于中国东部的下蜀黄土较西北黄土经历了更为剧烈的后期成壤作用,更易生成黏粒组分^[40]。周家山剖面碳酸钙体积分数(1.1%~1.4%)^[18]与西北黄土剖面(10%~20%)^[41]存在巨大差别,指示了下蜀黄土经历的淋溶作用要远远大于西北黄土。由此我们认为下蜀黄土经历了比西北黄土更为暖湿的沉积环境。但是,周家山剖面黏粒组分体积分数不存在明显的黄土—古土壤旋回波动,这说明风化成壤作用不是黏粒组分的唯一控制因素,如何从黏粒组分中提取可靠的环境信息需要进一步研究。

周家山剖面的平均粒径自上而下变化与砂粒组分的变化趋势相似,即上半部深度 300 cm 以上变化很小,平均粒径为 10~11 μm;而深度 300 cm 以下,变化幅度很大,甚至在深度 500 cm 处出现一个峰值,达到约 25 μm。与西北黄土相比,较细的平均粒径也反映了下蜀黄土整体粒径偏细,既符合中国黄

土自西北向东南颗粒逐渐变细的基本规律,也反映了下蜀黄土经历了更为湿热的沉积环境,更强的成壤作用。

3 结 论

(1) 粒度特征研究显示,下蜀黄土粒度分布具有多峰特征,且平均粒径较西北黄土更细,符合中国黄土自西北向东南地带性分布特征;砂粒体积分数较高显示了下蜀黄土地层分布的局地差异,下蜀黄土风尘沉积是由近源粗颗粒物质和远源细颗粒物质共同作用的产物。下蜀黄土粗粉砂组分($10\sim 50\ \mu\text{m}$)可用作反映东亚冬季风强度的良好指标。

(2) 周家山剖面各粒度组分体积分数的变化指示了下蜀黄土所经历的古气候环境较之西北黄土更为暖湿,化学风化作用更强,黄土—古土壤也经受了较强的后期成壤作用,周家山剖面大致经历了 2 次完整的干冷—暖湿气候旋回。

参考文献:

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] 李徐生, 杨达源, 鹿化煜. 镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 25-32.
- [3] 杨达源. 中国东部的第四纪风尘堆积与季风变迁[J]. 第四纪研究, 1991, 11(4): 354-360.
- [4] 郑祥民, 严钦尚. 末次冰期苏北平原和东延海区的风尘黄土沉积[J]. 第四纪研究, 1995, 15(3): 258-266.
- [5] 武春林, 朱诚, 鹿化煜, 等. 南京地区下蜀黄土磁性地层年代与古环境变化[J]. 地层学杂志, 2006, 30(2): 116-123.
- [6] 毛龙江, 贾耀锋, 邹欣庆. 长江下游地区下蜀黄土堆积与成壤环境演变, 以南京江北地区一典型剖面为例[J]. 地理研究, 2006, 25(5): 887-894.
- [7] 郑祥民, 刘飞. 长江三角洲与东海岛屿黄土研究综述[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2006(6): 9-24.
- [8] 王爱萍, 杨守业, 李从先. 南京地区下蜀土元素地球化学特征及物源判别[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2001, 29(6): 657-661.
- [9] 杨守业, 李从先, 李徐生, 等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究[J]. 地球化学, 2001, 30(4): 402-406.
- [10] Hao Q, Guo Z, Qiao Y, et al. Geochemical evidence for the provenance of middle Pleistocene loess deposits in southern China[J]. Quaternary Science Reviews, 2010, 29(23/24): 3317-3326.
- [11] Liu F, Li G, Chen J. U-Pb ages of zircon grains reveal a proximal dust source of the Xiashu loess, Lower Yangtze River region, China[J]. Science Bulletin, 2014, 59(20): 2391-2395.
- [12] 封珍. 南方下蜀黄土的矿物组成及其对物源指示意义研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [13] 李培英. 庙岛群岛的晚新生界与环境变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(4): 113-124.
- [14] 曹家欣, 李培英, 石宁. 山东庙岛群岛的黄土[J]. 中国科学: 化学物理学农学医学地学, 1987, 17(10): 1116-1123.
- [15] Pye K. Aeolian dust and dust deposits[M]. [S. l.]: Academic, 1987.
- [16] 谢昌仁, 李福春, 王力波, 等. 南京老虎山黄土—古土壤剖面不同粒级组分的磁化率及其古气候意义[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 159-162.
- [17] 鹿化煜, 安芷生. 前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究[J]. 科学通报, 1997, 42(23): 2535-2538.
- [18] 刘峰, 王昊, 秦艺帆, 等. 南京周家山下蜀黄土色度特征及其意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 35(5): 143-151.
- [19] 孙有斌, 高抒, 李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.
- [20] 孙东怀, 鹿化煜, Rea D, 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 327-335.
- [21] 刘飞, 郑祥民, 曹希强. 东海浪岗山岛屿黄土的粒度组成及风尘特征[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2007(4): 49-55.
- [22] 魏骥, 胡雪峰, 许良峰, 等. 长江中游地区第四纪红土的二元结构及古环境意义[J]. 土壤学报, 2010, 47(5): 826-835.
- [23] 朱丽东, 叶玮, 周尚哲, 等. 中亚热带第四纪红黏土的粒度特征[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 586-591.
- [24] 伊继雪, 朱丽东, 姜永见, 等. 第四纪加积型红土与下蜀黄土理化特征比较[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(2): 127-134.
- [25] 刘飞, 郑祥民, 许健, 等. 东海浪岗山岛屿黄土的粒度与磁性特征及其环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(4): 93-98.
- [26] 任少芳. 下蜀黄土地层的色度特征及环境信息研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [27] 刘飞. 东海岛屿黄土与下蜀黄土古环境信息研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- [28] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [29] 鹿化煜, 安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. 科学通报, 1997, 42(1): 67-69.
- [30] 管清玉, 高红山, 王勇, 等. 粘粒含量: 夏季风的良好替代指标[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 19-21.
- [31] 汪海斌, 陈发虎, 张家武. 黄土高原西部地区黄土粒度的环境指示意义[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 21-26.
- [32] 刘峰. 南京、镇江下蜀黄土古环境信息研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [33] 安芷生, Porter S, Kukla G, 等. 最近 13 万年黄土高原季风变迁的磁化率证据[J]. 科学通报, 1990, 35(7): 529-532.
- [34] 刘秀铭, 刘东生, Heller F, 等. 黄土频率磁化率与古气候冷暖变换[J]. 第四纪研究, 1990, 45(1): 42-50.
- [35] 孙继敏, 丁仲礼. 浅议中国黄土磁化率的物理意义[J]. 地球物理学进展, 1995, 10(4): 88-93.
- [36] 李徐生, 杨达源. S2 以来下蜀黄土沉积序列磁化率记录与深海氧同位素记录的对比[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(6): 766-772.
- [37] Paton T R. The formation of soil material[M]. [S. l.]: George Allen & Unwin, 1978.
- [38] 朱显谟, 赵景波. 黄土中古土壤研究的新进展[J]. 世界科技研究与发展, 1999, 21(2): 37-41.
- [39] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. 中国科学: 地球科学, 1998, 28(3): 278-283.
- [40] 李徐生, 韩志勇, 杨守业, 等. 镇江下蜀土剖面的化学风化强度与元素迁移特征[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1174-1184.
- [41] 文后忠. 中国黄土地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

Grain Size Distribution and Its Significance of the Xiashu Loess in Nanjing-Zhenjiang Area

Chen Pujiao, Zheng Xiangmin, Zhou Limin, Liu Feng

(School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: Loess is one of the most important geological records for the Quaternary paleoclimate changes. Xiashu Loess is distributed in the marginal area of Chinese loess, which could be controlled by cold and warm fluctuations since Late Pleistocene, especially the evolution of East Asia monsoon. On the basis of systematic sampling and analysis of grain size of Xiashu loess in Nanjing-Zhenjiang area, we explored its grain size distribution characteristics. Our results suggest that Xiashu loess follows the zonal distribution of Chinese loess, which is a powerful evidence that the material source of Xiashu loess is far away from local areas. Meanwhile, compared with the Loess Plateau of northwestern China, the higher concentration of its sand grains (8.6%—10.1%) indicates the local source, which could be influenced by the local topography. Vertical profiles of grain size of the Xiashu loess show that the depositional environment of the Xiashu loess was wetter and warmer than northwest inland, and the chemical weathering played a major role in pedogenic processes.

Key words: Xiashu loess; grain size; dust deposition; Nanjing-Zhenjiang area