

doi:10.3799/dqkx.2010.102

“巫山黄土”粒度特征及其对成因的指示

李长安^{1,2}, 张玉芬³, 袁胜元², 邵 磊², 江华军³, 周 耀³, 牛志军⁴, 赵小明⁴, 涂 兵⁴

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074
4. 武汉地质矿产研究所, 湖北武汉 430205

摘要:为了探讨“巫山黄土”的成因,对剖面样品进行了粒度分析。结果表明:“巫山黄土”主要由<50 μm的颗粒组成,>50 μm的砂级以上颗粒平均含量为16.9%;作为风尘“基本粒组”的10~50 μm的粗粉砂平均含量达43.1%,为众数粒组;5~10 μm的细粉砂颗粒含量平均为14.5%;<5 μm的粘土颗粒含量平均为25.5%,为次众数粒组。粒度参数、频率曲线与典型风尘沉积物相似,显示为典型的风积成因;粒度参数的C-M、L-M、A-M图等粒度象分析及结构参数散点图与现代河流沉积物差别明显,而与长江中下游分布的下蜀土却基本一致。判别分析结果绝大部分为负值,显示了风积成因为主、个别层位受到水流作用改造的成因特征。

关键词:长江上游;“巫山黄土”;粒度特征;风积成因。

中图分类号: P534

文章编号: 1000-2383(2010)05-0879-06

收稿日期: 2010-05-31

Grain Size Characteristics and Origin of the “Wushan Loess” at Wushan Area

LI Chang-an^{1,2}, ZHANG Yu-fen³, YUAN Sheng-yuan², SHAO Lei², JIANG Hua-jun³, ZHOU Yao³, NIU Zhi-jun⁴, ZHAO Xiao-ming⁴, TU Bing⁴

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
4. Wuhan Institute of Geological and Mineral Resources, Wuhan 430205, China

Abstract: Based on the grain size analyses of “Wushan Loess” at Wushan area, the causes of “Wushan Loess” are discussed in this paper. The results show as follows. The component particles of the “Wushan Loess” are predominantly less than 50 μm with the average content of >50 μm about 16.9%; the average content of coarse silt (10~50 μm) is 43.1% as the “dominant group” of the “Wushan Loess”; the average content of 5~10 μm group is 14.5% and <5 μm group makes up 25.5%. The characteristics of grain size parameters and frequency and probability cumulative distribution curves are the same as those of typical atmospheric dust sediment, which shows that the “Wushan Loess” is of aeolian origin. C-M, L-M, A-M chart and statistical indices of grain size distribution are obviously different from those of fluvial sediment and are the same as those of Xiashu Loess distributed in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The most discriminant analysis result is of negative value, which displays that the aeolian origin is prevailing and individual layer is affected by water flow action.

Key words: upper reaches of the Yangtze River; “Wushan Loess”; grain size characteristics; eolian origin.

“巫山黄土”是指分布于长江三峡的黄土状堆积,作为我国黄土分布的南界,早已引起学者的注意。黄土是晚新生代古气候研究的重要载体,黄土的

成因是古气候和古环境恢复的基础。由于“巫山黄土”孤立分布于河谷中,其成因显得更加重要和复杂。关于“巫山黄土”的成因研究虽然进行了约半个

世纪,但至今仍存在着争议(沈玉昌,1965;刘兴诗,1983;谢明,1991;张芸等,2001;柯于义等,2007;王建明等,2009)。本文依据新发现的剖面,通过系统的粒度特征研究,对“巫山黄土”的成因进行了探讨。

1 剖面特征

近年,笔者在三峡地区进行第四纪地质调查时,在巫山县城南建筑工地新发现一处黄土剖面(图1)。剖面厚度达15 m,顶底清楚,出露完整。从出露条件和厚度来看这是迄今为止“巫山黄土”研究最理想的剖面。剖面的岩性较均一,主要由褐黄色的粉砂和砂质黏土组成,含有少量的钙质结核;剖面无层理,垂直节理发育,大孔隙明显。

2 样品的采集与测试

从剖面顶部开始,以 5 cm 间隔连续取样,共采集粒度样品 289 个。粒度测试在河南信阳师范学院粒度分析实验室完成,仪器为英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪,其测试范围为 0.01~2 000 μm ,重复测量误差小于 2%。样品在 10~15 mL 10% 的 H_2O_2 中煮沸 10~20 min,再在 10 mL 10% 的 HCl 中继续煮沸,除去有机质和碳酸钙;注满蒸馏水静置一夜后再抽去水,加入 10 mL 0.05 N 的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 进行分散,用超声波清洗机震荡 10 min,制成悬浮液供测试。

3 结果分析与成因讨论

3.1 粒度组成及对成因的指示

采用 $50 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ 和 $5 \mu\text{m}$ 分别作为砂粒/粗粉砂、粗粉砂/细粉砂以及细粉砂/黏粒的分界线。“巫山黄土”剖面的粒径 $>50 \mu\text{m}$ 的颗粒含量范围为 12.4%~33.6%，平均为 16.9%； $10\sim50 \mu\text{m}$ 颗粒含量范围为 33.6%~48.2%，平均为 43.1%，该粒组是黄河中游典型黄土的众数粒组，为风尘的“基本粒组”； $5\sim10 \mu\text{m}$ 颗粒含量范围为 11.7%~21.2%，平均为 14.5%； $<5 \mu\text{m}$ 颗粒含量范围为 20.0%~32.2%，平均为 25.4%，为该段的次众数粒组。依据沉积物三因分类法，“巫山黄土”剖面的样品全部属于黏土质粉砂（表 1，图 2），与西部典型风成黄土（刘东生等，1985）和安徽的下蜀土非常相近，其组成均以粉砂级组分为主，黏土级组分次之，砂级组分较少。由于 $>50 \mu\text{m}$ 的颗粒一般不易被风力长距离搬运，我国各地黄土 $>50 \mu\text{m}$ 的含量一般不超过 10%（刘东生等，1985），而“巫山黄土”沉积物中砂粒含量比西部黄土多，且跨度较大，这可能是因为剖面处在峡谷中，有附近山地吹入的近源物质引起的（表 1）。

3.2 粒度参数和频率曲线特征及对成因的指示

“巫山黄土”的粒度分布曲线变化不大,多表现为不对称的双峰和多峰态(图3),主峰都以粉砂颗粒为主,且粗粉砂含量最多.众数出现在 $4\sim 6\varPhi$ 区间,众数粒径向粗粒端减小的速率比向细粒端快,个别样品在 $0\sim 1\varPhi$ 以下出现一个小峰.大量资料表明 $5\sim 6\varPhi$ (对应 $10\sim 50\mu m$)粒级颗粒在空气中最易浮

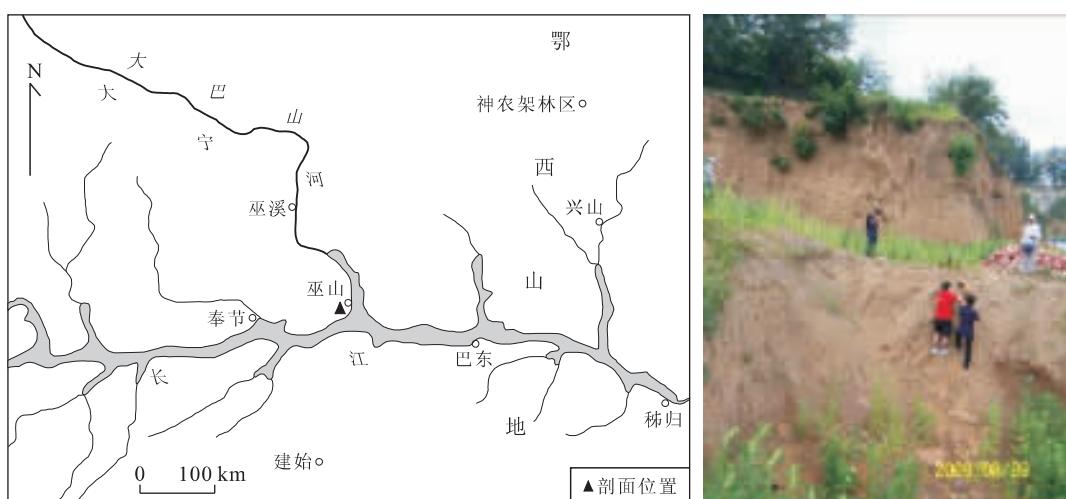


图 1 研究剖面及剖面位置

Fig. 1 Map showing the research section and its geography position

表1 “巫山黄土”粒度组成与不同沉积类型的比较

Table 1 Comparison of grain size composition of “Wushan Loess” and different sediments

| 地点 | 粒级(%) | | | | | |
|---------------------|--------|----------|---------|-------|-------|-------|
| | >50 μm | 10~50 μm | 5~10 μm | <5 μm | | |
| 本文研究的“巫山黄土”(289个样品) | 全剖面最大值 | 33.60 | 48.20 | 21.20 | 32.20 | |
| | 全剖面最小值 | 12.40 | 33.60 | 11.70 | 20.00 | |
| | 全剖面平均值 | 16.90 | 43.10 | 14.50 | 25.50 | |
| 现代河流沉积物(67个样品) | 全剖面最大值 | 91.60 | 45.40 | 17.70 | 7.00 | |
| | 全剖面最小值 | 30.80 | 2.30 | 2.30 | 0.00 | |
| | 全剖面平均值 | 77.40 | 15.80 | 5.00 | 1.80 | |
| 巢湖盆地下蜀土(883个样品) | 全剖面最大值 | 58.61 | 58.93 | 25.50 | 45.05 | |
| | 全剖面最小值 | 0.29 | 24.58 | 4.32 | 5.58 | |
| | 全剖面平均值 | 14.07 | 44.54 | 16.15 | 24.60 | |
| 洛川剖面 | 马兰黄土 | 6.80 | 53.00 | 12.50 | 27.40 | |
| | 黄土 | 离石上部 | 10.00 | 52.70 | 11.00 | 26.30 |
| | | 离石下部 | 5.30 | 50.30 | 12.30 | 31.20 |
| | 古土壤 | 离石上部 | 7.10 | 45.70 | 12.70 | 32.00 |
| | | 离石下部 | 4.80 | 45.70 | 12.60 | 37.80 |

注：洛川剖面资料来源于刘东生等(1985)。

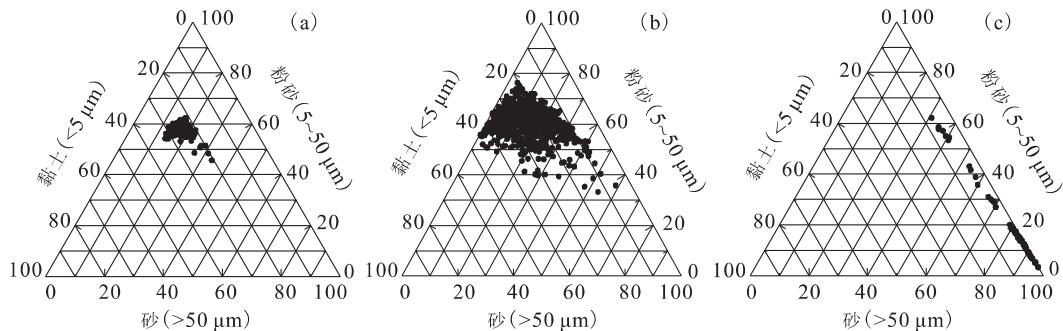


图2 “巫山黄土”(a)与巢湖下蜀土(b)、现代河流沉积物(c)岩性三角

Fig. 2 Clay-silt-sand triangular plots of “Wushan Loess” (a), Xiashu Loess (b), and modern fluvial sediment (c)

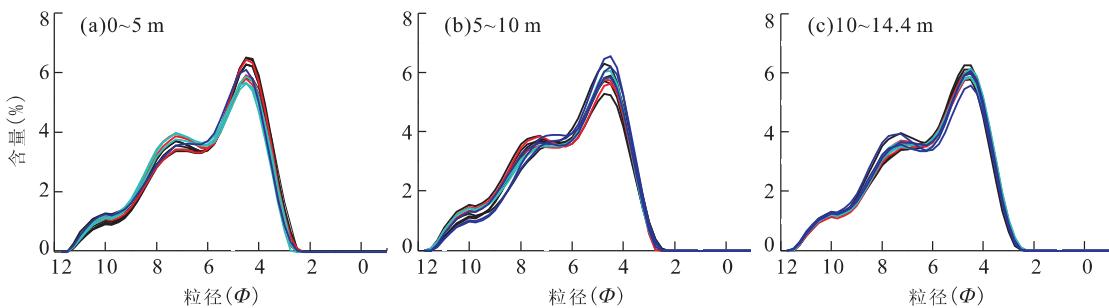


图3 “巫山黄土”粒度频率曲线

Fig. 3 Grain size frequency distribution curves of “Wushan Loess”

动,为最主要的风力悬浮搬运对象,而随粒径变大,搬运系数变小,在空气中的浮动性能越来越差,小于4 Φ (大于63 μm)粒径的颗粒就基本不能在空中悬浮,一般只以跃移形式搬运(Pye and Tsoar, 1987; 张云翔等,1998)。曲线上所表现的以粉砂级粒径含量为主的特点相应地说明了它的风成成因(孙东怀等,2000)。在剖面3~4 m、11 m附近部分样品细粉

砂和黏土的含量明显增加,可能与风力较小或成壤作用有关;剖面6 m附近的个别样品在0处出现了一个小峰,可能是风力较强时附近山体的近源物质混入引起的。

3.3 粒度象特征及对成因的指示

粒度象的CM图(C为累积曲线上1%处所对应的粒径,M为中值粒径)已被广泛地应用于风成

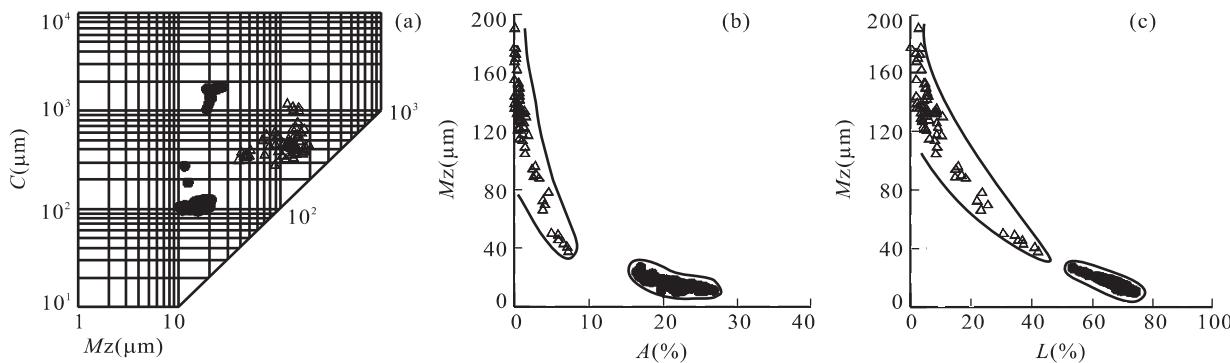


图 4 “巫山黄土”与河流沉积物粒度象特征比较

Fig. 4 Comparison of grain size images of "Wushan Loess" and fluvial sediment

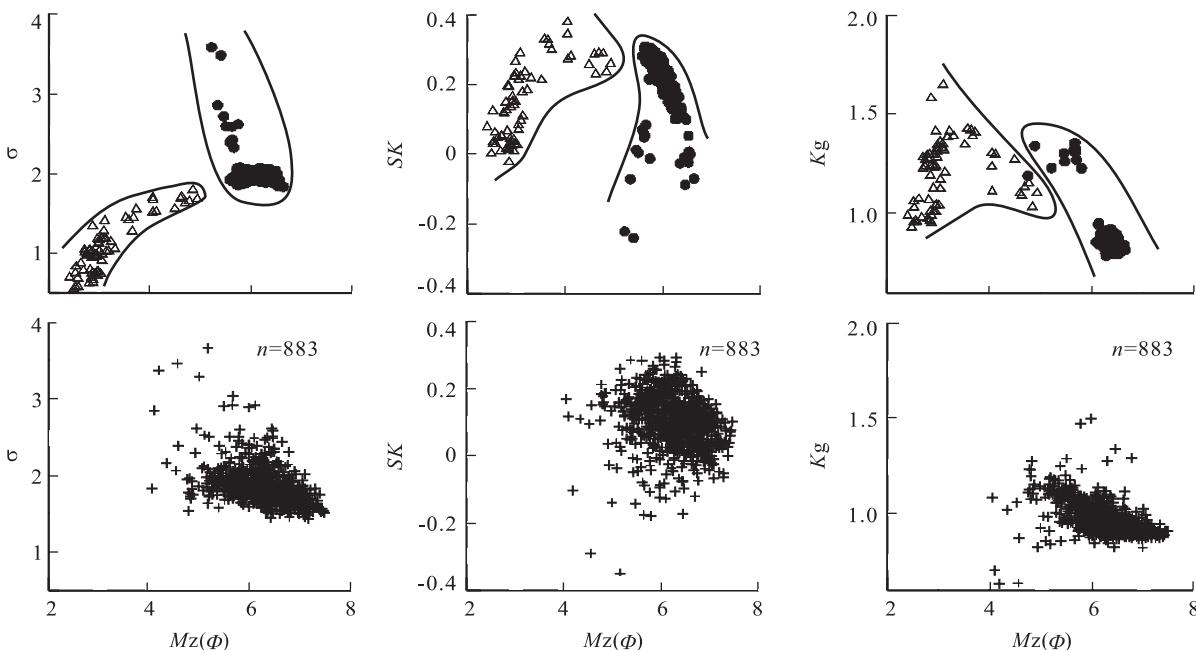
a. C-M 图; b. A-M 图; c. L-M 图; ●巫山黄土; △长江现代河流沉积物; A. 小于 $4 \mu\text{m}$ 的粒变百分含量; L. 小于 $31 \mu\text{m}$ 的粒变百分含量

图 5 “巫山黄土”、河流沉积物和下蜀黄土参数散点

Fig. 5 Comparison of scattergram of "Wushan Loess", and Xiashu Loess, and fluvial sediment

●巫山黄土($n=289$); △现代河流沉积物($n=67$); +下蜀黄土($n=883$); 图中 n 为样品数

沉积的研究中(鹿化煜和安芷生, 1999)。C-M 图在风成沉积研究中的应用主要是通过未知样品在 C-M 图中的投影区域与已知成因样品投影区域的比较来确定未知样品的成因及沉积环境。笔者运用经改进的粒度象作图方法分别绘制了“巫山黄土”和长江现代河流沉积物的 C-M、A-M 和 L-M 图(图 4)(A、L 分别为小于 $4 \mu\text{m}$ 和 $31 \mu\text{m}$ 的粒度百分含量), 从图 4 中可以看出, “巫山黄土”与河流沉积物样品分布于不同的区域, 显示出了两者分属不同的成因。

3.4 粒度参数散点图特征及对成因的指示

粒度参数一般都具有一定的成因及沉积环境的判别意义。但鉴于沉积环境非常复杂, 且影响因素也

很多, 用单一的粒度参数判别沉积环境往往是不确切的, 常需要对各种粒度参数进行综合分析, 才能得出比较可靠的结论。由图 5 可见, “巫山黄土”粒度参数散点图和现代河流沉积物有较大的区别, 而与巢湖盆地下蜀土的分布区域却基本一致, 反映了“巫山黄土”的成因应与下蜀土风积成因一致, 而与河流成因不同。

3.5 判别式特征及对成因的指示

通过对沉积物粒度参数的综合统计分析, 可以找出判别不同沉积环境和沉积作用的环境指标值(于学峰等, 2006)。笔者利用鉴别沉积环境的判别函数(戴东林和陈庸勋, 1976)分别计算了“巫山黄土”

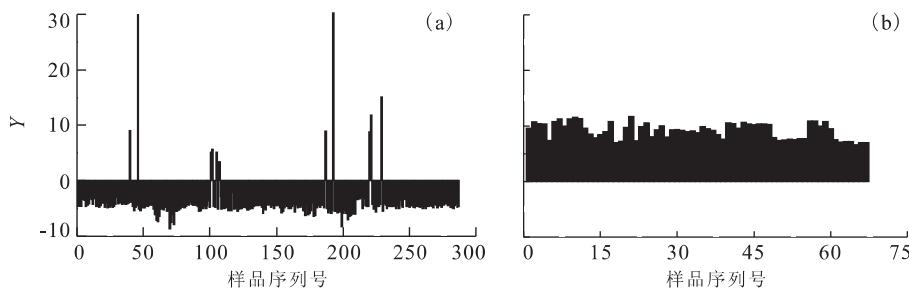


图6 “巫山黄土”(a)和河流沉积物(b)判别函数值

Fig. 6 Y value of grain size distribution of “Wushan Loess” (a) and fluvial sediment (b)

样品的判别值($Y = -3.5688 Mz + 3.7016 \sigma^2 - 2.0766 SK + 3.1135 Kg$,其中 Mz 为中值粒径, σ 为标准差, SK 为偏度, Kg 为峰态)和现代河流沉积物样品的判别值($Y = 0.7217 Mz - 0.4030 \sigma^2 + 6.7322 SK + 5.2927 Kg$).已有研究(鹿化煜和安芷生,1999;于学峰等,2006)表明典型风成沉积物的判别值是负值,水成沉积物大部分是正值.从图6可以看出,“巫山黄土”的判别值绝大部分都为负值,只有个别样品为正值,揭示其以风积成因为主并受流水改造的特征,而用于对比的水成成因的现代河流沉积物的判别值均为正值.

4 结论与讨论

“巫山黄土”样品的粒度测试结果以及与北方黄土、长江中下游下蜀土和长江现代河流沉积物的粒度参数对比分析得到如下结论:(1)“巫山黄土”的“基本粒组”为 $10\sim50\mu m$ 的粗粉砂,其平均含量达43.1%,与北方典型风尘的黄土的“基本粒组”基本一致;(2)在沉积物岩性三角图中“巫山黄土”样品全部属于黏土质粉砂,以粉砂级组分为主,黏土级组分次之,砂级组分较少,与西部典型风尘黄土和巢湖的下蜀土的组成非常相近,而与现代河流沉积物相差甚远;(3)“巫山黄土”几乎所有样品的平均粒径都在 $5\sim7\phi$ 之间,平均为 6.34ϕ ,属于粉砂粒级,是典型的风尘物质堆积粒级范围.75%样品的标准差 σ 属于分选较差等级,说明其物源距离沉积区较远.偏度 SK 的平均值为0.21,约有93%属于正偏,这是风积成因的主要特点,由于风力难以搬运粗碎屑物质,因此粗尾比细尾排除得更加彻底.92%的样品属于宽峰态分布;(4)粒度参数的C-M、L-M、A-M图等粒度象分析及结构参数散点图与现代河流沉积物差别明显,而与长江中下游分布的下蜀土基本一致;

(5)判别分析结果绝大部分为负值,显示了风积成因为主、个别层位受到水流作用改造的成因特征.

综上分析,“巫山黄土”的成因应为风积成因.其动力可能与青藏高原的隆升有关,青藏高原抬升导致晚新生代以来东亚季风环流不断增强,西北地区干旱化导致沙漠戈壁的扩大,从而使得黄土高原的物源区在第四纪晚期达到了最广泛的范围(杨达源,1991;安芷生等,1998, 2006;李吉均和方小敏,1998;李吉均等,2001;孙东怀和鹿化煜,2007).以上几种因素共同作用使得来自黄土高原的粉尘在风力作用下不断向南扩张,在长江三峡地区形成了粉尘堆积.关于“巫山黄土”的物源问题将在另文中讨论.

致谢:研究生王节涛、罗昊、孙习林参加了野外样品的采集,李庭、严玲琴参加了样品室内整理,在此对他们表示感谢.

References

- An, Z. S., Wang, S. M., Wu, X. H., et al., 1999. Eolian evidence from the Chinese Loess plateau: the onset of the Late Cenozoic great glaciation in the northern hemisphere and Qinghai-Xizang plateau uplift forcing. *Science in China (Ser. D)*, 42(3): 258–271.
- An, Z. S., Zhang, P. Z., Wang, E. Q., et al., 2006. Changes of the monsoon-arid environment in China and growth of the Tibetan plateau since the Miocene. *Quaternary Sciences*, 26(5): 678–693 (in Chinese with English abstract).
- Dai, D. L., Chen, Y. X., 1976. Grain size analysis of sediment and their applications. Geological Publishing House, Beijing, 107–117 (in Chinese).
- Li, J. J., Fang, X. M., 1999. Uplift of the Tibetan plateau and environmental changes. *Chinese Science Bulletin*, 44(23): 2117–2124.
- Li, J. J., Fang, X. M., Pan, B. T., et al., 2001. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area. *Quaternary Sciences*, 21

- (5):381—391 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. S., An, Z. S., Zheng, H. H., 1985. Loess and environment. Science Press, Beijing, 191—208 (in Chinese).
- Liu, X. S., 1983. Quaternary system of the Sichuan basin. Sichuan Science and Technology Publishing House, Chengdu, 95—97 (in Chinese).
- Lu, H. Y., An, Z. S., 1999. Comparison of grain-size distribution of red clay and loess-paleosol deposits in Chinese Loess plateau. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(2): 226—232 (in Chinese with English abstract).
- Ke, Y. Y., Yin, H. G., Guo, F., et al., 2007. Origin of the “Wushan Loess” at the Three Gorges area. *Yangtze River*, 38(9): 72—76 (in Chinese).
- Pye, K., Tsoar, H., 1987. The mechanics and geological implications of dust transport and deposition in deserts with particular reference to loess formation and dune sand diagenesis in the northern Negev, Israel. *Geological Society Special Publication*, 35: 139—156. doi: 10.1144/GSL.SP.1987.035.01.10
- Shen, Y. C., 1965. Valley land form of upper Yangtze River. Science Press, Beijing, 97—146 (in Chinese).
- Sun, D. H., Lu, H. Y., 2007. Grain-size and dust accumulation rate of Late Cenozoic aeolian deposits and the inferred atmospheric circulation evolutions. *Quaternary Sciences*, 27(2): 251—262 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. H., Lu, H. Y., David, R., et al., 2000. Bimode grain size distribution of Chinese Loess and its paleoclimate implication. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(3): 327—335 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J. M., Wang, Y., Wang, J. L., 2009. Research on granular characteristics of Quaternary deposit in Wushan County. *Yangtze River*, 40(13): 13—15 (in Chinese).
- Xie, M., 1991. Loessal deposits in the Three-Gorge area of the Changjiang (Yangtze) River. *Geochimica*, 9(3): 292—300 (in Chinese with English abstract).
- Yang, D. Y., 1991. The Quaternary dust-fall accumulation and the monsoon variability in eastern China. *Quaternary Sciences*, (4): 354—360 (in Chinese with English abstract).
- Yu, X. F., Zhou, W. J., Liu, X. Q., et al., 2006. Grain size characteristics of the Holocene peat sediment in eastern Tibetan plateau and its paleoclimatic significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(6): 864—869 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. X., Chen, D. L., Xue, X. X., et al., 1998. The genetic types of the Late Neogene red clay in the middle reaches of the Yellow River. *Journal of Stratigraphy*, 22(1): 10—15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y., Zhu, C., Zhang, Q., et al., 2001. Sedimentary environment and eolian deposits in past 3 000 a in Daning Valley of the Three Gorges of the Yangtze River. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 21(4): 83—88 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 安芷生,王苏民,吴锡浩,等,1998.中国黄土高原的风积证据:晚新生代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动.中国科学(D辑),28(6): 481—490.
- 安芷生,张培震,王二七,等,2006.中新世以来我国季风—干旱环境演化与青藏高原的生长.第四纪研究,26(5): 678—693.
- 戴东林,陈庸勋,1976.沉积岩(物)粒度分析及其应用.北京:地质出版社,107—117.
- 李吉均,方小敏,1998.青藏高原隆起与环境变化研究.科学通报,43(15): 1569—1574.
- 李吉均,方小敏,潘保田,等,2001.新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响.第四纪研究,21(5): 381—391.
- 刘东生,安芷生,郑洪汉,1985.黄土与环境.北京:科学出版社,191—208.
- 刘兴诗,1983.四川盆地的第四系.成都:四川科学技术出版社,95—97.
- 鹿化煜,安芷生,1999.黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比—红粘土风成成因的新证据.沉积学报,17(2): 226—232.
- 柯于义,尹华刚,郭峰,等,2007.三峡库区“巫山黄土”成因研究.人民长江,38(9): 72—76.
- 沈玉昌,1965.长江上游河谷地貌.北京:科学出版社,97—146.
- 孙东怀,鹿化煜,2007.晚新生代黄土高原风尘序列的粒度和沉积速率与中国北方大气环流演变.第四纪研究,27(2): 251—262.
- 孙东怀,鹿化煜,David, R.,等,2000.中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义.沉积学报,18(3): 327—335.
- 王建明,王勇,王建力,2009.巫山第四纪沉积物粒度特征研究.人民长江,40(13): 13—15.
- 谢明,1991.长江三峡地区的第四纪沉积物.地球化学,9(3): 292—300.
- 杨达源,1991.中国东部的第四纪风尘堆积与季风变迁.第四纪研究,(4): 354—360.
- 于学峰,周卫健,刘晓清,等,2006.青藏高原东部全新世泥炭灰分的粒度特征及其古气候意义.沉积学报,24(6): 864—869.
- 张云翔,陈丹玲,薛祥煦,等,1998.黄河中游新第三纪晚期红粘土的成因类型.地层学杂志,22(1): 10—15.
- 张芸,朱诚,张强,等,2001.长江三峡大宁河流域3000年来的沉积环境和风尘堆积.海洋地质与第四纪地质,21(4): 83—88.