

文章编号: 1008—2786(2000)01—0007—06

南方红土的剖面风化特征

熊尚发, 刘东生, 钟礼

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

提 要: 对地处九江的南方红土所作的观察和元素地球化学分析表明, 南方红土在剖面上存在风化强度的系统变化特征。剖面下部对应网纹红土的层位风化强度大大高于剖面上部对应褐黄色土的层位, 其中氧化铁游离度从下部 90% 降至上部 45% 左右, 相当于从砖红壤环境转变为红壤环境。这种风化强度的系统变化在北方黄土地层中没有相似表现, 但可能与黄土记录的中更新世晚期以来粉尘通量逐步加大、干旱化程度逐步加深有着某种关联, 暗示中更新世晚期以来可能存在较为普遍的气候恶化趋势。

关键词: 南方红土; 风化作用; 气候变化

中图分类号: P642.13⁺2; P59 **文献标识码:** A

古土壤是第四纪古气候的重要记录体^[1]。过去的十几年中, 对于中国北方第四纪古土壤的研究已为构筑全球陆地第四纪气候变化框架提供了关键证据^[2]。相对而言, 对于中国南方的古土壤记录的研究则显得非常欠缺, 这对于全面了解第四纪古气候变化的空间格局和古季风气候变化机制都是不利的。

中国南方虽然缺乏象北方黄土那样巨厚的粉尘堆积和古土壤序列, 但却广泛分布了十几米厚的红土堆积^[3,4]。这些堆积型的红土具有埋藏古土壤的特征^[4], 记录了古气候变化序列, 对其剖面的研究有望获取南方古气候变化的有价值的信息。

南方红土主要分布于江西、湖南、湖北南部、安徽南部以及浙江、福建、广东和广西等地的丘陵盆地, 被认为是红色风化壳之一^[5], 历来受到地质学家和土壤学家的重视^[3~9]。虽然众多的研究已就其成分、风化特征、时代等问题做过讨论, 最近几年以来, 不少研究者也开始关注南方红土古气候记录的研究^[9,10], 但对于红土剖面风化特征和古气候记录的意义认识有限, 对南方红土古气候记录的独特性还未予注意。

在此, 我们选择了位于江西九江的红土剖面, 针对红土记录的独特性进行了红土的风化特征的研究, 以期初步探讨红土区第四纪古气候变化的一些轮廓性特征。

1 地质背景与土壤地层

九江剖面位于庐山以北, 九江市南约 3 km 的丘陵地区, 九庐公路开挖现场。剖面厚 15.5 cm, 下伏大型漂砾(最大直径可达 1 m 以上), 漂砾成分主要为石英砂岩, 磨圆较好。红土剖面由两部分组成, 上部为褐黄色土状堆积, 下部为红色至砖红色的网纹红土层, 二者界线较清晰。上部褐黄色土层呈披覆状覆盖于下部网纹红土层之上, 类似北方马兰黄土的产状。根据沉积物的颜色、结构和网纹特征, 初步将剖面分为 8 个发育层。描述见表 1。

收稿日期: 1999—03—15; 改回日期: 1999—04—12

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 49702030)

作者简介: 熊尚发(1965—), 男(汉族), 博士。江西高安人, 1990 年获中国科学院成都山地研究所硕士学位, 1996 年在中国科学院地质研究所获博士学位。现主要从事南方红土和北方黄土—红粘土古气候研究。

表 1 红土剖面描述¹⁾
Table 1 Pedological characteristics of the red earth in Jiujiang section

地层 Unit	发育层 Horizon	深度 Depth (cm)	质地 Texture	基质颜色 Matrix	土斑 Mottles	结构 Structure, Porosity	胶膜 Coating	其它特征 Other features	下界 Lower boundary
RE1	A	0~186	Sc	7.5YR 4/6	f	1, c, shk	f	偶见根迹	g
	BW1	186~310	Sc	5YR 4/8	f	2 m, shk	f, cl	偶见根迹	c
	Bw2	310~440	Sc	7.5YR 4/4	c m, 2 7.5YR 3/1	2 m, g p, shk	f, c, cl	偶见根迹	g
	BC	440~649	Sc	7.5YR 4/6	c 3, 7.5YR 3/1	g shk	f	根迹不发育	g
RE2	Bt1	649~736	Sc	5YR 4/8	g 3 5YR 3/1	2 m, shk	c m, 5YR 4/4, cl	根迹较发育	g
	Bt2	736~919	Cs	10R 4/8	g 3 7.5YR 5/8	2 m, shk	m, 10YR 4/4, cl, fe	根迹发育	g
	Bt3	919~1129	Cs	10R 4/6	c 3, 5 YR7/6	2 m, shk	a, 10R 3/4, cl, fe	根迹发育	g
	Bt4	1129~1558	Cs	10R 3/6	c 3, 10Y R 7/1	2 m, shk	a, 10R 4/3, fe, cl	根迹发育	a

1)剖面描述代号的意义如下:质地, c—粘土, s—粉砂。基质颜色, 为 Munsell 标准色卡比色。土斑, f—偶见, c—常见, m—较多, 1—细, 2—中等, 3—较大, 土斑颜色, 为 Munsell 标准色卡比色。结构, 0—无结构, 1—弱结构, 2—中等发育, 3—强发育, f—小, m—中等, c—大, pr—棱柱状, shk—次角块状。胶膜, f—偶见, c—常见, m—较多, a—丰富。胶膜颜色, 为 Munsell 标准色卡比色, cl—粘粒胶膜, fe—氧化铁胶膜。下界, a—突变, c—清晰, g—渐变, d—模糊。

2 剖面风化特征

2.1 研究方法

在野外观察的基础上, 对九江剖面进行了间隔为 3.33 cm 的样品采集。分析样品的间隔分别是: TOC, Fet, Fed 分析样的取样间隔为 6.66 cm, 常量元素和微量元素分析的取样间隔为 50 cm。样品分别经 CBD 和酸性溶剂处理后, 通过原子吸光谱分析, 获得 Fed 和 Fet 的分析结果。TOC 分析采用改进的 Walkeley—Black 方法^[11]。元素的全量分析样经酸溶后与标样一起在 ICP—9000 型等离子光量计上测量。微量元素分析采用铟(In)为内标, 样品溶于(HF+HClO₄+HNO₃)混合液后, 通过 ICP—MS 进行了测量, 参考样分析显示, 样品分析误差为 10%。

2.2 分析结果

TOC 整个剖面全有机碳(TOC)的值都不高, 很少样品超过 0.25%, 4 m 以上的样品 TOC 约高于 4 m 以下的样品。1 m 以上, TOC 含量增至 0.25 % 左右(图 1)。红土 TOC 值与黄土比较接近, 例如, 黄河中游马兰黄土 TOC 平均含量约为 0.25 %, 并且, 黄土中的 TOC 含量也随剖面深度增加而降低^[12]。在北京斋堂剖面, S1 以上 TOC 一般不超过 0.5 %, TOC 变化与土壤发育程度有一定的相关性, 但土壤发育最强的 S1 底部 TOC 含量却很低^[13], 说明土壤发育程度与 TOC 含量的关系是非线性的。土壤风化程度可能在强发育土壤 TOC 值降低上起了主要作用。

全氧化铁(Fet) Fet 的变化大约以 7 m 为界, 剖面上部 Fet 在 6.5 % 附近波动, 波动幅度很小, 频率也不大。剖面下部 Fet 则在 6.5 %~12.5 % 间剧烈变化, 波动幅度明显大于上部, 波动的频率也非常高。这一变化的界线与粒度的变化(见图 1)大体相同, 上部 Fet 波动小的层位对应粒度较粗的部位, 下

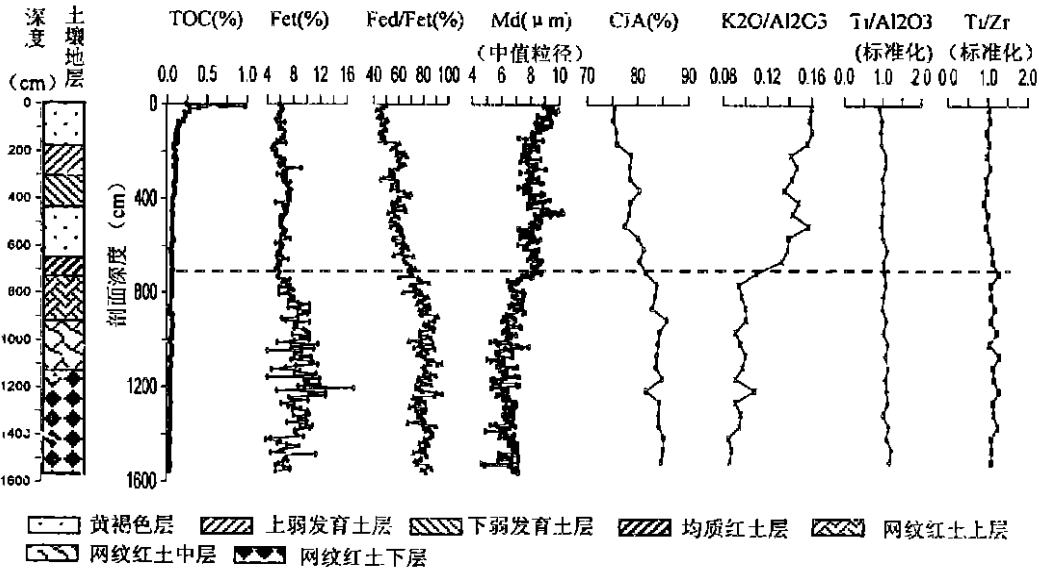


图 1 九江红土理化指标的剖面变化
Fig. 1 Sequential variations in the geo chemical parameters of the Jiujiang red earth

部波动大的层位对应粒度较细的沉积。从地层看, 这一界线与网纹红土上界也大体一致。与黄土相比, 红土下部 Fet 含量明显较高, 而剖面上部的 Fet 值两者的差别则不大。黄土中, Fet 含量平均约为 5.4 %, 且随深度增加没有趋势性变化^[13], 但有一定的区域变化, 如兰州五泉山黄土 Fet 平均只有 4 % 左右, 似乎表明黄土 Fet 含量与物源有关。斋堂黄土剖面化学分析结果则表明^[13], 古土壤层的 Fet 含量明显高于黄土层。这可能意味着红土中的 Fet 含量变化与物源变化有一定的关系。

氧化铁游离度 (Fet/ Fet)
Fet/ Fet 在剖面上变化于 45 % ~ 90 % 间, 从下往上, Fed/ Fet 由大变小, 大体在 7 m 以下, Fed/ Fet 基本上都超过 70 %, 而在此之上则变化于 45 % ~ 70 % 间(图 1)。除了趋势性变化之外, Fed/ Fet 的波动特征在剖面上下没有明显的不同。与黄土相

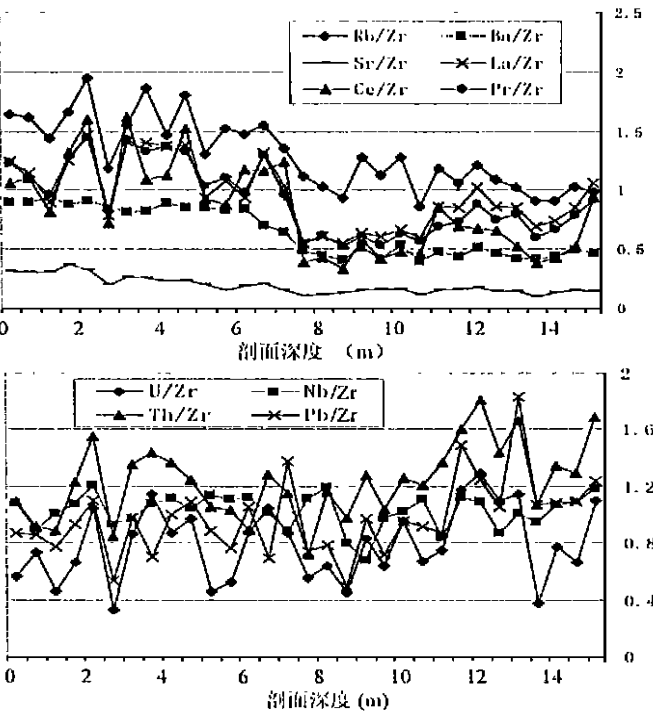


图 2 微量元素与 Zr 的丰度比值
(经 UCC 大陆上地壳元素丰度标准化) 的剖面变化
Fig. 2 The ratios of trace elements to Zr against the depth of the red earth section

比,红土的 F_{ed}/F_{et} 显得非常高。与北京斋堂黄土剖面, F_{ed}/F_{et} 在古土壤层最高不超过 30%,而在黄土层这一比值则降为 15%^[13,14]。与其它地点的土壤分析结果相比,九江剖面上部的 F_{ed}/F_{et} 值相当于现代红壤(35%~48%),而剖面下部则相当于现代砖红壤(F_{ed}/F_{et} 值约为 65%~85%)^[15]。单纯从 F_{ed}/F_{et} 值来看,红土剖面上部和下部的成壤环境变化非常显著。

CIA CIA 是常用的风化指标^[16] ($CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Ca + Na_2O + K_2O)$), 主要反映盐基的淋溶状况。南方红土的 CIA 变化于 75%~85%(图 1), 而黄土则为 50%~75%^[17]。红土剖面上 CIA 的变化表明, 剖面下部盐基淋溶非常强烈, 而剖面上部淋溶强度也已超过黄土。 $(CaO + K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ 也是风化指标的一种。在九江剖面, 该值从剖面下部向上部逐渐增加, 剖面下部约为 20% 以下, 剖面上部增至 30% 以上。黄土中这一比值在 267%~110% 间^[12]。

微量元素 Sr 的浓度从剖面下部向上加大, 下部 < 40 ppm¹⁾, 剖面上部 > 75 ppm, 增加了一倍。Ba 从剖面下部的 240 ppm 增至剖面上部的 480 ppm。Sr、Ba 均为较易迁移的元素, 在黄土沉积中, Sr 平均为 195 ppm, Ba 平均为 579 ppm, 相对于红土上部含量仍明显偏高。通过各微量元素与 Zr 的比值变化(大陆上地壳元素丰度标准化值)^[18], 可见 Rb, Ba, Sr, La, Ce, Pr 等元素存在明显的剖面迁移过程, 剖面上部的比值明显低于剖面上部, 差值可达一倍。而 U, Nb, Th, Pb 等元素与 Zr 比值的剖面变化则不甚明显(图 2)。

从难迁移元素的比值(Ti/Zr , Ti/Al_2O_3)看(图 1), 剖面上下变化不大, 这表明剖面上下物源变化不大, 不影响根据元素比值判断剖面风化强度。

3 讨 论

3.1 风化强度的系统变化

从剖面的观察和不同的风化指标变化看, 九江剖面的风化强度存在系统的变化, 表现在剖面下部风化强度大大高于上部, 且自下而上, 风化强度逐步降低。从 F_{ed}/F_{et} 、Sr、Ba 和 CIA 值变化看, 7 m 以下红土风化强度没有趋势性的变化, 但存在一些小的波动。7 m 以上, 风化强度则是逐渐降低。有关南方红土风化强度的剖面变化, 以往的研究也有所涉及^[19]。本研究以高密度采样分析结果, 证明红土风化强度存在系统变化特征。单纯从铁的游离度来看, 从网纹红土(相当于砖红壤)到上部黄褐色层(相当于红壤和黄壤), 古气候带的移动幅度就达 8 个纬度^[15]。这一特征在红土沉积区可能是普遍存在的, 因为不同地点红土沉积都有自下而上颜色由红变褐变黄、风化程度降低的现象。但是, 在黄土沉积区, 从中更新世到晚更新世, 黄土古土壤序列无论从宏观上还是化学风化指标上看, 都没有发现风化强度系统变化的现象。不过, 黄土古土壤序列从中更新世到晚更新世, 普遍存在粉尘堆积速率加大的现象^[20], 这一现象被认为与冬季风逐步增强、北方干旱化加剧有关。南方红土风化强度的系统变化是否与此相关联? 目前尚难下结论。

3.2 粒度和物源变化的贡献

我们注意到, 红土风化强度的变化与粒度变化存在一定的可比性。从剖面下部至上部, 粒度较粗的层位对应风化强度较弱的层位, 而粒度较细的层位恰与风化强度高的沉积对应。南方红土剖面的粒度变化可能主要反映了物源和古风场强度的变化, 这一变化与 F_{et} 反映的物源变化也可对比, 表明红土从下到上, 物源的确有一定程度的变化。但是, 根据 Zr/Ti , Ti/Al_2O_3 等比值判断, 这一物源变化对母质的化学组成影响并不明显。九江剖面的 Zr/Ti , Ti/Al_2O_3 比值变化于 10% 左右, 说明剖面上的易迁移元素的丰度变化主要是风化作用的结果, 受物源变化影响不大。因此, 红土剖面所见的风化强度系统变化

1) 1ppm=1 μ g/g 下同。

可能主要反映了古气候的长期变化趋势。

3.3 气候恶化的长期趋势

红土剖面的颜色、结构和不同风化指标变化说明, 南方红土从下到上风化强度由强变弱, 表明红土剖面存在加积现象, 即风化作用不是自上而下的残积风化, 而是堆积与风化作用同时进行的加积型风化作用, 更重要的是, 这反映了南方红土沉积过程中的古气候在向冰期环境发展的长期变化趋势。这一趋势目前能够初步认识的有两个方面, 一是冬季风逐渐加强, 造成剖面由下往上粒度的加粗, 可能沉积速率也有加大的趋势; 二是沉积区气候总体向较干、较冷的方向发展, 暗示存在气候恶化的长期趋势。

参考文献:

- [1] Retallack, G. J. Soils of the past[M]. London: Unwin-Hyman, 1990. 1~520
- [2] 丁仲礼, 刘东生, 刘秀铭等. 250 万年以来的 37 个气候旋回[J]. 科学通报, 1989, 34(19): 1494~1496
- [3] 席承藩. 论华南红色风化壳[J]. 第四纪研究, 1991, (1): 1~8
- [4] 朱显谟. 中国南方的红色风化壳[J]. 第四纪研究, 1993, (1): 75~84
- [5] 龚子同. 红色风化壳的生物地球化学[C]. 见: 李庆远主编. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983. 24~40
- [6] 朱显谟. 江西红壤之气候问题[J]. 中国土壤学会会志, 1948, 1: 51~56
- [7] 熊毅. 江西更新世粘土之性质及其生成[J]. 地质论评, 1944, 9: 109~120
- [8] de Charlin, P. T., Young, C. C., Pei, W. C. and Chang, H. C. On the Cenozoic formations of Kwangsi and Kwang-tung [J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 1935, 14(2): 179~205
- [9] 赵其国, 杨浩. 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究[J]. 第四纪研究, 1995, (2): 107~116
- [10] 杨达源, 韩辉友, 周旅复, 等. 安徽宣城地区中晚更新世风成堆积与环境变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(2): 97~104
- [11] 于天仁, 王振权主编. 土壤分析化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1~531
- [12] 文启忠, 等. 中国黄土地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1~279
- [13] 熊尚发, 刘东生, 丁仲礼. 东亚冬夏古季风变化的相位差及热带太平洋在季风变化中的驱动作用[J]. 第四纪研究, 1996, (3): 202~210
- [14] 熊尚发, 刘东生, 丁仲礼. 末次间冰期~末次冰期转换时期斋堂黄土记录中的气候回返事件[J]. 科学通报, 1998, 43(17): 1873~1877
- [15] 赵其国, 王振权, 刘兆礼. 我国富铝化土壤发生特性的初步研究[J]. 土壤学报, 1983, 20(4): 333~346
- [16] Nesbitt, H. W. and Yong G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 1982, 299: 715~717
- [17] Gallet, S., Jahn, B. — M., Lanoë, B. V. V., Dia, A. and Rosselb, E. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 156: 157~172
- [18] Taylor, S. R. and McLennan, S. M. The continental crust, its composition and evolution[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 1~312
- [19] 袁国栋, 龚子同. 第四纪红土的土壤发生及其古地理意义[J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 54~62
- [20] 刘东生, 等. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1~481

THE WEATHERING SEQUENCE OF THE RED EARTH OVER SOUTHERN CHINA

XIONG Shang-fa, LIU Tung-sheng, DING Zhong-li

(*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract: Red earth in Southern China has provided a valuable record for the paleoclimatic changes in low latitudes. However, up-to-date, the studies on the paleoclimatic aspects of the red earth are still scarce. Here we present a preliminary result of climate-induced geochemical variations of a red earth profile in Jiujiang City, Jiangxi Province. This red earth section is about 15 m thick, and consists of two pedogenic units. The upper part is a layer of yellowish silty clay, while the lower part a layer of red clay with yellow and white worm-shaped veins. The result reveals that a pronounced depletion of bases (Na, K, Ca) occurred in the lower part of the section. In the lower part the ratio of F_{ed}/F_{et} is about 90%, corresponding to that of present laterite. However, in the upper part, this ratio decreased to about 45%, indicating a significant weakening in the intensity of weathering. The CIA also decreased by 10% (from 85% to 75%) from the bottom to the top of the section. A significant loss in the concentration of some more mobile elements for example, Sr, Ba, Rb etc., is observed in the lower part of the section. Other proxies also show a weakened weathering up-section. This weakening trend in weathering intensity is not observed in the loess sequences of northern China, but may be relevant to the drying process reflected by the dust flux record of the loess deposits. The weathering sequence also indicates that the red earth is not only the production of eluvial weathering, but is accompanied with an accelerated accumulation of dust materials as well. These may imply that a deterioration of climate has undergone over both north and southern China since late Pleistocene.

Key words: red earth in southern China, weathering, climatic change