

安徽郎溪黄棕色土-红土二元结构土壤剖面的成因与长江流域第四纪晚期古气候演变*

蔡方平 胡雪峰[†] 杜艳 冯建伟

(上海大学环境与化学工程学院环境科学与工程系, 上海 200444)

摘要 安徽宣郎广一带,黄棕色土-红土二元结构地貌十分常见。本文在郎溪选择了一个典型的黄棕色土-红土剖面,进行粒度组成和元素地球化学性状的研究,结果表明:(1)研究剖面上部黄棕色土的粒度组成和元素地球化学特征,与宣城、九江黄棕色土和镇江下蜀黄土十分一致,说明研究区域的黄棕色土确实与长江流域广泛分布的下蜀黄土同源。郎溪剖面粒度和元素地球化学特征的变化较均匀,尤其黄棕色土→埋藏红土(包括均质红土和网纹红土)间呈连续过渡,无沉积间断,表明埋藏红土的物源与黄棕色土和下蜀黄土相似,具典型的风积成因特性。(2)与黄棕色土相比,埋藏红土粒径偏细,风化成土作用显著增强。从埋藏红土逐渐过渡到黄棕色土,反映的可能是长江流域晚更新世初期,末次间冰期结束、末次冰期开始时的一次重大的古气候演变事件,但仍需确凿的年代学证据。

关键词 下蜀黄土;红土;粒度分布;地球化学特征;古气候演变

中图分类号 S159 **文献标识码** A

中国南方第四纪红土蕴含着丰富的古气候信息,对于重建南方古气候有重要意义^[1]。杨达源^[2]指出长江沿岸的第四纪红土,是形成于早更新世或中更新世的老黄土,可称之为“下蜀红土”。最新的研究^[3]表明,长江中下游约北纬29°~31°地区的第四纪红土,具有明显的风积成因特性,其物源可能为风成黄土;而且风成特性红土具有双重气候印记,暗示了长江流域第四纪古气候也曾有巨幅变化。长江流域第四纪红土上面通常覆盖着一层厚度不一的黄棕色土^[4]。这一地貌,在九江地区十分典型。前人的研究认为,九江红土上部的黄棕色土就是广泛分布在长江流域的下蜀黄土,形成于末次冰期^[5],与黄土高原马兰黄土相当^[6]。若能证实,将为长江流域末次冰期—末次间冰期古气候轮回提供直接佐证,有重要学术价值。但至今未有典型剖面的确切年代学证据。安徽宣城一带红土上部也有黄棕色土覆盖,但层次较薄,且多被侵蚀^[7-10]。野外调查发现,宣城以北的郎溪县,黄棕色土迅速增厚,黄棕色土-红土二元结构地貌更为典型。郎溪埋藏红土→黄棕色土,连续过渡,可能记录了长江流域第四纪晚期一次重大的古气候演变事件,有着

重要的研究价值。但至今未有对郎溪黄棕色土-红土二元结构土壤剖面的深入研究报告。课题组在郎溪采集了多个典型的二元结构土壤剖面,拟进行年代学、土壤学和各种古气候指标的分析。本文只对其中一个剖面的粒度和元素地球化学特征进行研究,比较和分析黄棕色土和红土的性状和成因,揭示其中包含的古气候演变信息。

1 材料与方 法

1.1 研究地点和样品采集

安徽郎溪县地处宣城市北约50 km。研究剖面位于郎溪工业区乾坤大酒店附近(31°12'8"N; 118°11'39"E)(见图1),是一建筑工地开切一红土丘陵而成。所在红土丘陵相对高度约10 m,坡势较缓,植被为原生的马尾松和茅草。研究剖面层次过渡连续而均匀,未受人为堆填等影响,形态特征描述见表1。剖面下部是深厚的网纹红土层,基岩较深。全剖面以10 cm的间距高分辨率采样,共获土壤样品25个。样品在室内风干后研磨,过<2 mm筛备用。

* 国家自然科学基金项目(批准号:40971126)资助

[†] 通讯作者, E-mail: xfhu@shu.edu.cn

作者简介:蔡方平(1985—),男,安徽巢湖人,硕士研究生,主要从事红土与古气候演变的研究。E-mail: caifp1374@shu.edu.cn

收稿日期:2011-05-02;收到修改稿日期:2011-07-16

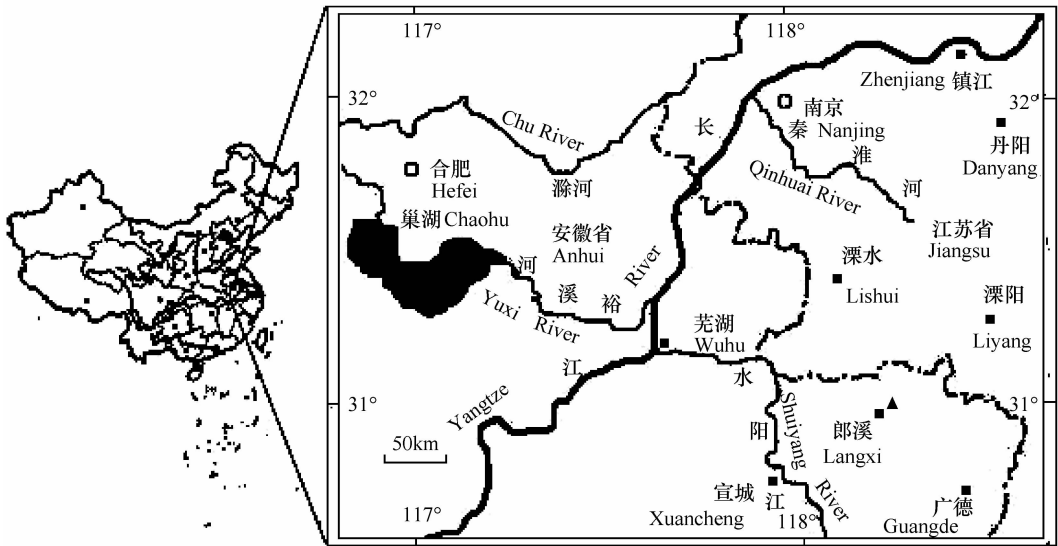


图 1 安徽省郎溪剖面地理位置(“▲”表示所采剖面点位)

Fig. 1 Sketch map showing the geographical location of the study profile in Langxi county, Anhui province (“▲” indicates the site of the study profile)

表 1 安徽郎溪黄棕色土-红土剖面形态特征

Table 1 Morphological features of the Yellow-brown Earth-Red Clay profile in Langxi County, Anhui Province

土壤剖面 Soil profiles	深度 Depth (cm)	颜色 Colors	形态特征 Morphological features
黄棕色土 Yellow-brown Earth	0 ~ 40	10YR 2/7	黄棕色, 疏松, 粒状结构, 含大量植物根系 Yellow-brown color, loose, with granular aggregates and many plant roots
	40 ~ 120	10YR 5/6	黄棕色, 坚硬, 块状结构, 含较多黑色锰质焦斑 Yellow-brown color, hard, with blocky structure and many blackish (Mn) mottles
均质红土 Uniform Red Clay	120 ~ 180	5YR 5/7	棕红色, 坚硬, 块状结构, 含有大量黑色锰质焦斑 Reddish brown color, hard, with blocky structure and many blackish (Mn) mottles
埋藏红土 Undelying Red Clay	180 ~ 250	5YR 5/5	网纹红土 Reticulate Red Clay
			红褐色, 坚硬, 块状结构, 有大量细小网纹 Reddish brown color, hard, with many small reticulate stripes

1.2 粒度分析

均匀称取约 0.09 g 样品, 加 0.05 mol L⁻¹ 的六偏磷酸钠 10 ml, 用玻璃棒充分搅匀后浸泡过夜。超声震荡分散 20 min, 把样品悬浮液全部倒入激光粒度仪 (美国 LS13320) 进样槽中。由于剖面上部 100 cm 内有机质含量较高, 故在分散前需加 10 ml 10% 的双氧水 (H₂O₂) 进行预处理, 去除有机质。

1.3 XRF 法分析常量元素和微量元素

土样在烘箱中烘干后, 充分研磨。称取约 4 g 细粉样品, 压成土壤薄片, 放入 X-射线荧光光谱仪 (XRF), 测试常量元素 (SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O、TiO₂、MnO 和 P₂O₅) 和微量元素 (Sc、V、Cr、Ni、Cu、Zn、Ga、Pb、U、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Cs、Ba、La、Ce 和 Hf) 的含量。用中国国家标准土壤样品 GSS-3 和 GSS-6 进行测试监控。结

果发现,用此法测得的常量元素含量的相对误差 < 5%; 但 MnO 的相对误差 < 14.8%。15 种微量元素 (Sc、V、Cr、Ni、Cu、Zn、Ga、Rb、Sr、Zr、Nb、Ba、Ce、Hf、Pb) 的相对误差大部分 < 10%; Y、Cs、La、U 的相对误差 < 30%。测试过程中,时常随机选择样品,进行五次重复测定,发现所有常量元素测试的相对标准偏差 < 4.8%; 微量元素绝大部分 < 10%, 但 Cs 和 U < 20%。说明利用 XRF 法测试土壤样品常量和微量元素的结果,基本真实可信。

1.4 风化强度指标

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子比 (SA) 和 $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 分子比 (SAF), 常用于反映热带、亚热带土壤脱硅富铝化程度; $\text{BA}[(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3]$ 分子比和 $\text{CIA}[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100\%]$ 反映土壤盐基淋失和化学蚀变的程度。此外,易迁移元素 (K、Na、Ca、Mg) 和难迁移元素 (Ti) 分子比: $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ (NaT)、 $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ (KT)、 CaO/TiO_2 (CaT)、 MgO/TiO_2 (MgT), 也用于评估红土化学风化强度。

2 结果

2.1 粒度分布特征

研究剖面各粒级百分含量均匀,变化幅度较小

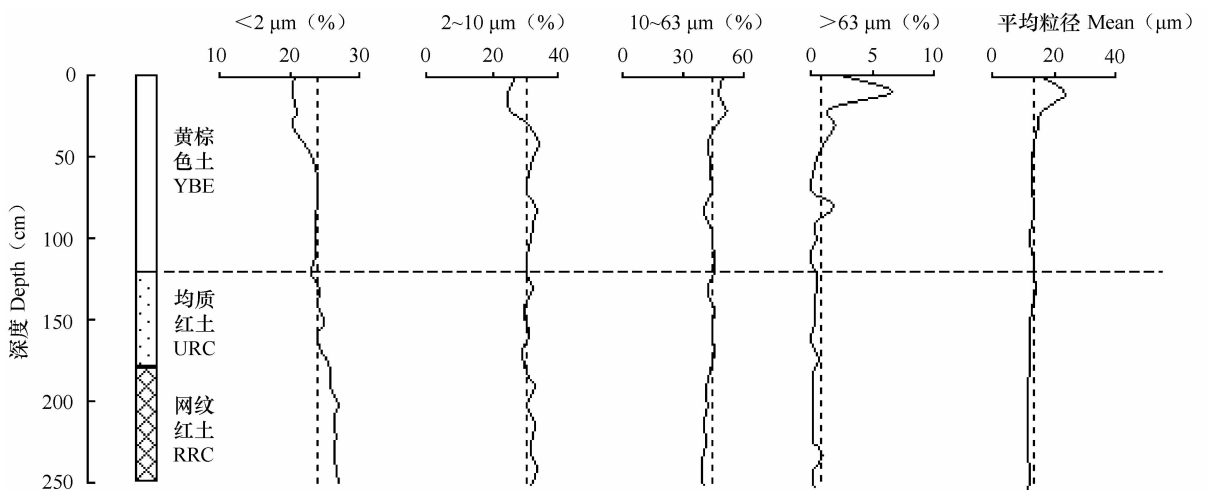


图2 郎溪黄棕色土-红土剖面粒度组成垂向分布(垂直虚线表示平均值;水平虚线是黄棕色土和埋藏红土的分界线)

Fig. 2 Vertical distribution of particle-size fractions of the Yellow-brown Earth-Red Clay profile in Langxi County, Anhui Province. The vertical dashed lines indicate mean values; the horizontal one shows a boundary between the Yellow-brown Earth and the underlying Red Clay (YBE = Yellow-brown Earth; URC = Uniform Red Clay; RRC = Reticulate Red Clay)

(见图2)。其中,粗粉砂(10~63 μm)是众数粒级,在剖面中的平均含量为43.87%,变化范围在39.42%~51.97%之间,变异系数是6.7%。细粉砂(2~10 μm)是研究剖面的次众数粒级,在剖面中的平均含量为31.68%,变化范围在24.97%~33.82%之间,变异系数为7.4%。黏粒在剖面中的含量也较高,平均含量为24.16%,变化范围在20.41%~26.91%之间,变异系数为8.1%。砂粒(>63 μm)在剖面中的含量最低,平均含量仅为1.34%,变化范围在0.05%~6.64%之间。只有表土层(0~20 cm)砂粒含量较高,其余层次均很低,可能与表土细颗粒的淋移有关。总体而言,全剖面不含砾石(>2 mm),砂粒含量很低,各粒级含量和平均粒径均匀、变幅较小;全剖面粗粉砂显著富集,该粒组是风尘的“基本粒组”^[11]。这些粒度组成特征表明,郎溪黄棕色土-红土剖面具有类似黄土的风积成因特性。

郎溪黄棕色土和红土的各级粒度组分的含量,与九江、宣城黄棕色土和红土以及镇江下蜀黄土很相近,与洛川和灵台黄土粒度组分含量也有可比性(表2)。较明显的是,砂粒含量很低;风尘基本粒组显著富集。进一步表明郎溪黄棕色土与红土,在空间上具有延续性;在物源和成因上与已证明的风成特性红土^[5]和下蜀黄土具相似性。

表 2 郎溪、九江、宣城黄棕色土和埋藏红土、镇江下蜀黄土及黄土高原洛川和灵台黄土粒径比较

Table 2 Comparison of the Yellow-brown Earth and the underlying Red Clay in Langxi, Jiujiang, and Xuancheng with the Xiashu Loess in Zhenjiang and the loess in Lingtai and Luochuan in the Chinese Loess Plateau in particle size

土壤样品 Soil samples	各级粒径含量 Percents of different particle-size fractions(%)				平均粒径 Mean particle sizes(μm)
	$< 2 \mu\text{m}$	$2 \sim 10 \mu\text{m}$	$10 \sim 63 \mu\text{m}$	$> 63 \mu\text{m}$	
郎溪剖面黄棕色土(0~120 cm) Yellow-brown Earth in the Langxi profile	22.65	30.53	45.32	1.34	14.61
郎溪剖面红土(120~250 cm) Red clay in the Langxi profile	25.61	31.52	42.56	0.32	12.14
镇江下蜀黄土 Xiashu Loess in Zhenjiang	19.73	31.96	45.70	2.60	17.00
宣城黄棕色土 Yellow-brown Earth in Xuancheng	23.03	33.00	42.27	1.49	18.38
宣城红土 Red Clay in Xuancheng	30.30	32.12	37.35	0.22	11.68
九江黄棕色土 Yellow-brown Earth in Jiujiang	18.55	26.54	52.08	2.82	13.58
九江红土 Red Clay in Jiujiang	27.27	35.98	35.93	0.83	9.46
洛川黄土 Loess in Luochuan	14.95	23.76	55.79	5.49	23.48
灵台黄土 Loess in Lingtai	16.67	28.77	50.91	3.66	19.58

土壤和沉积物的粒度频率分布曲线,有很好的物源示踪意义^[12]。研究剖面黄棕色土的频率分布曲线具有双峰特征(图3):粉砂粒组显最高峰,黏粒和细颗粒处有一潜在的小峰(隐峰)。其形态上与九江和宣城黄棕色土、镇江下蜀黄土的粒度频率分布曲线十分相近;与黄土高原典型黄土(洛川黄土和灵台黄土)也有可比性,尽管后者粒径较粗,细颗粒隐峰不明显。这表明郎溪黄棕色土具有与风成黄土相似的成因,与前人的很多研究结果^[13-14]是一致的。埋藏红土的频率分布曲线和黄棕色土存在差异:细颗粒($2 \sim 10 \mu\text{m}$)的峰变高、变宽,而粗粉砂组分($10 \sim 63 \mu\text{m}$)的最高峰变低;然而从黄棕色土→均质红土→网纹红土,粒度频率分布曲线具明显的连续性和继承性,尤其是粗粉砂的最高峰和砂粒组分的最低值很相近。进一步表明,埋藏红土也具有与黄棕色

土相近的风积成因特性,属于“下蜀红土”^[2],或风成特性红土^[5]。

尽管如此,埋藏红土与黄棕色土之间粒度组分的含量存在差异:黄棕色土中黏粒的含量显著小于埋藏红土($t = 5.91, p < 0.01$),平均含量分别为22.6%和25.6%;埋藏红土中的粗粉砂含量显著小于上部黄棕色土($t = 2.83, p < 0.01$),平均含量分别为42.56%和45.32%;埋藏红土的平均粒径显著小于上部黄棕色土($t = 2.84, p < 0.01$),分别为 $12.1 \mu\text{m}$ 和 $14.6 \mu\text{m}$ 。总体而言,埋藏红土粒径较黄棕色土细。土壤中的细颗粒($2 \mu\text{m}$)组分和成壤强度有关,成土作用越强,黏粒含量就越高。这就说明:埋藏红土形成时期气候湿热,成土作用强;而上部黄棕色土形成时期,成土作用变弱。埋藏红土的风化成土作用显著大于上部黄棕色土,可能与气候的变化有关。

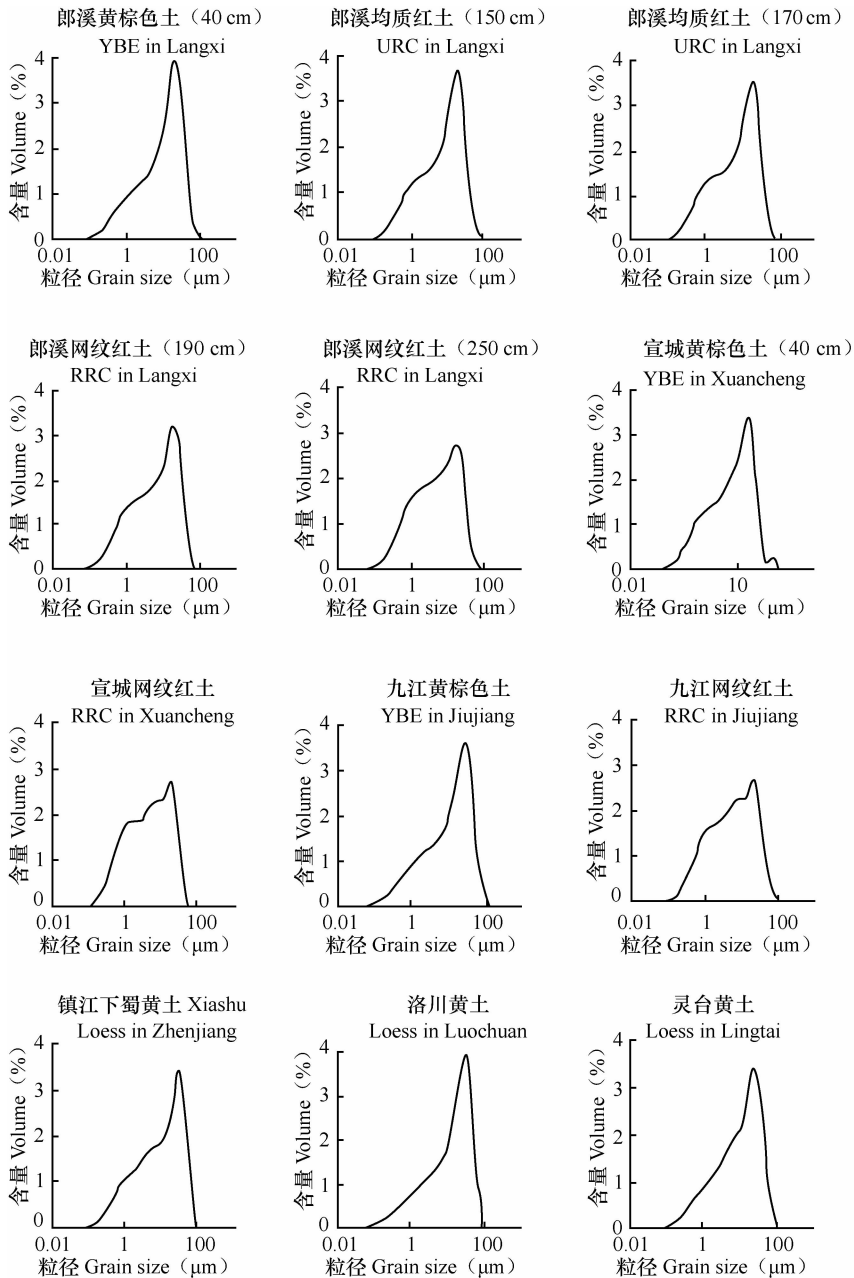


图3 郎溪、宣城、九江黄棕色土和埋藏红土, 镇江下蜀黄土与黄土高原洛川和灵台黄土粒度频率分布曲线比较

Fig. 3 Comparison of the Yellow-brown Earth and the underlying Red Clay in Langxi, Xuancheng and Jiujiang with the Xiashu Loess in Zhenjiang and the loess in Luochuan and Lingtai in the Chinese Loess Plateau in particle-size frequency curves (YBE = Yellow-brown Earth; URC = Uniform Red Clay; RRC = Reticulate Red Clay)

2.2 元素地球化学特征

2.2.1 常量元素 和粒度组成特征一样, 研究剖面

常量元素含量的垂向分布也较均匀一致(图4): Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 SiO_2 是剖面的主元素。 SiO_2 在剖面中的含量最高, 平均含量为 66.65%, 变化范围在 56.88%~74.22%之间, 变异系数为 4.8%; Al_2O_3 在剖面中含量仅次于 SiO_2 , 变化范围在 9.50%~14.93%之间, 变异系数为 15.9%; Fe_2O_3 在三种元

素之中含量最低, 平均含量为 5.94%, 变化范围在 4.46%~7.13%之间, 变异系数为 11.65%。相比之下, Na、K、Ca、Mg 等易迁移元素在剖面中的含量很低。 K_2O 平均含量为 1.5%, 变化范围在 1.2%~1.77%之间, 变异系数为 14.2%; 而 Na_2O 、CaO、MgO 在剖面中含量均小于 1%, 平均含量分别为 0.73%、0.42%、0.75%, 变为范围在 0.45%~0.92%、0.28%~0.52%、0.51%~0.98%之间, 变异

系数分别为：17.3%、17.2%、22.2%。TiO₂ 为稳定元素，在剖面中变化不大，平均含量为 0.92%，变化范围在 0.76%~0.97% 之间，变异系数为 4.5%。总体而言，常量元素在剖面中的垂向分布均匀，没有明显的突变，表明了剖面物质成分的均匀性。

郎溪黄棕色土和红土的常量元素组成，与九

江、宣城黄棕色土和红土、镇江下蜀黄土以及北方洛川和灵台黄土常量元素组成相近(表 3)：SiO₂ 约 60%~70%；Fe₂O₃ 约 4%~7%；Al₂O₃ 约 11%~16%；Na、K、Ca、Mg 等易迁移元素在各剖面含量都很低。也表明了郎溪黄棕色土和红土在物源和成因上与下蜀黄土与黄土的相似性。

表 3 郎溪、宣城、九江黄棕色土和埋藏红土，镇江下蜀黄土与黄土高原洛川和灵台黄土常量元素含量比较

Table 3 Comparison of the Yellow-brown Earth and the underlying Red Clay in Langxi, Xuancheng and Jiujiang with the Xiashu Loess in Zhenjiang and the loess in Lingtai and Luochuan in the Chinese Loess Plateau in major element contents

土壤样品 Soil samples	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O(%)	CaO(%)	MgO(%)
郎溪剖面黄棕色土(0~120 cm) Yellow-brown Earth in the Langxi profile	67.68	5.69	13.16	2.08	0.96	0.42	0.83
郎溪剖面红土(120~250 cm) Red clay in the Langxi profile	65.82	6.17	14.96	1.62	0.83	0.42	0.69
镇江下蜀黄土 Xiashu Loess in Zhenjiang	63.85	5.10	14.27	2.23	1.09	0.85	1.40
宣城黄棕色土 Yellow-brown Earth in Xuancheng	69.33	5.46	13.21	1.77	0.78	0.39	0.75
宣城红土 Red Clay in Xuancheng	68.35	6.79	14.75	1.27	0.67	0.30	0.56
九江黄棕色土 Yellow-brown Earth in Jiujiang	64.63	5.91	14.94	2.17	0.76	0.39	1.22
九江红土 Red Clay in Jiujiang	62.35	6.28	16.25	2.39	0.43	0.36	1.15
洛川黄土 Loess in Luochuan	62.66	4.60	12.07	2.17	1.45	3.31	1.90
灵台黄土 Loess in Lingtai	61.23	4.28	11.35	2.05	1.63	4.30	1.78

黄棕色土和埋藏红土中常量元素的含量总体上又存在差异：埋藏红土中 Al 和 Fe 显著富集；Si 和 Na、K、Ca、Mg 等易迁移元素发生淋溶强烈。Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 在埋藏红土中的含量(平均分别为 6.2% 和 15.0%) 显著大于黄棕色土(平均分别为 5.7% 和 13.5%) ($t_{Fe}=2.8$ 和 $t_{Al}=2.9$, $t_{0.01}=2.79$, $p<0.01$)。Na₂O、K₂O、CaO、MgO 在埋藏红土中的含量(平均分别为 0.83%、1.62%、0.41% 和

0.82%) 则显著小于黄棕色土(平均分别为 0.96%、2.08%、0.42% 和 0.69%) ($t_{Na}=3.4$, $t_K=3.0$, $t_{Ca}=2.8$, $t_{Mg}=2.9$, $t_{0.01}=2.79$, $p<0.01$)。SiO₂ 在埋藏红土中的含量(平均为 65.8%) 也显著小于黄棕色土(平均为 67.7%) ($t=2.1$, $t_{0.05}=2.06$, $p<0.05$)。总体而言，埋藏红土中 Si 和 Na₂O、K₂O、CaO、MgO 的淋失更强烈，造成 Al 和 Fe 等不易迁移元素的相对富集量增高。

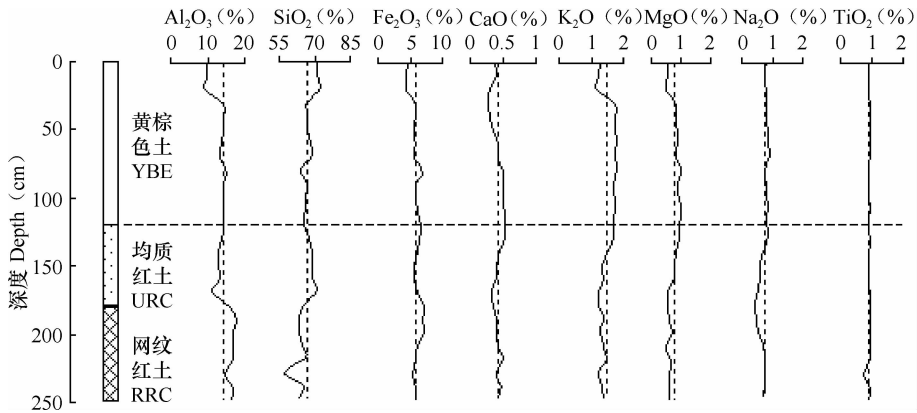


图4 安徽郎溪黄棕色土-红土剖面常量元素含量垂向分布
(垂直虚线表示全剖面元素含量平均值;水平虚线是黄棕色土和埋藏红土的分界线)

Fig. 4 Vertical distribution of major element contents in the Yellow-brown Earth-Red Clay profile in Langxi, Anhui Province. The vertical dashed lines indicate means of the contents; the horizontal one shows a boundary between the Yellow-brown Earth and the underlying Red Clay (YBE = Yellow-brown Earth; URC = Uniform Red Clay; RRC = Reticulate Red Clay)

2.2.2 微量元素 土壤微量元素的含量及比例,与成土母质或母岩有关,有很好的物源示踪意义^[15]。本文绘制了研究剖面各层微量元素含量的分布图,结果表明(图5):黄棕色土的微量元素含

量与均质红土和网纹红土十分接近,甚至重合;与镇江下蜀黄土也很相似。进一步说明研究剖面物质组成均匀;黄棕色土和埋藏红土在物源和成因上均与下蜀黄土相似。

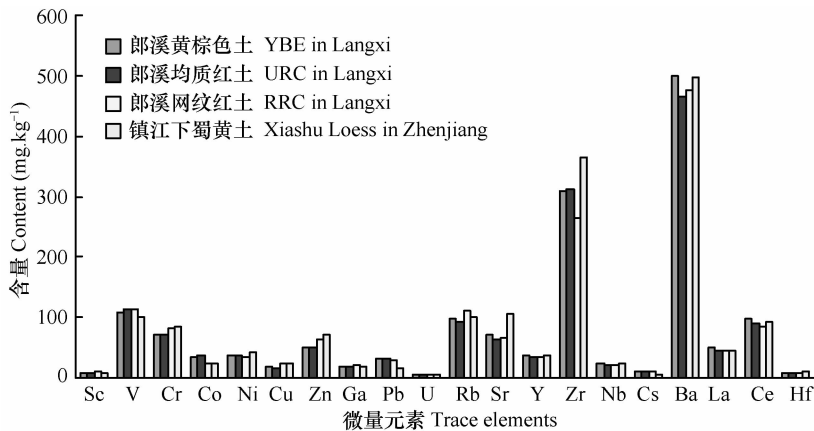


图5 安徽郎溪黄棕色土-红土剖面典型层次与镇江下蜀黄土微量元素配分曲线

Fig. 5 Trace-element-distribution curves of typical layers of the Yellow-brown Earth - Red Clay profile in Langxi, Anhui Province and the Xiashu Loess in Zhenjiang, Jiangsu province

2.2.3 风化强度指标 郎溪剖面风化强度指标见图6。SA和SAF常用于反映热带、亚热带土壤脱硅富铝化程度;BA是土壤的风化淋溶指数^[16];CIA^[17]是土壤的化学蚀变指数,近年来很多学者将它用来表示土壤的风化程度。CIA值越大,土壤的风化程度越大。本研究中,SA和SAF在黄棕色土中的值(平均分别为9.01和7.04)要显著大于埋藏红土(平均分别为7.56和5.95)($t_{SA} = 3.1$ 和 $t_{SAF} = 4.7$, $t_{0.01} = 2.79$, $p < 0.01$)。BA在黄棕色土层中的值(平均为0.45)显著大于埋藏红土(平均为

0.34)($t = 3.6$, $t_{0.01} = 2.79$, $p < 0.01$)。CIA在黄棕色土中的值(平均为84.2%)显著小于埋藏红土(平均为88.9%)($t = 4.5$, $t_{0.01} = 2.79$, $p < 0.01$)。上述风化指标均表明埋藏红土风化强度显著大于上部黄棕色土。

Ti的赋存矿物抗风化能力强,为难迁移元素;而K、Na、Ca、Mg易迁移淋失。因而,两者的分子比可以反应红土的风化成土强度^[18]。本研究讨论了NaT、KT、CaT、MgT在剖面的垂向变化(图6)。MgT、KT在黄棕色土的值(平均为1.15和1.49)显

著高于埋藏红土(平均为 0.92 和 1.28) ($t_{MgT} = 5.3$, $t_{KT} = 4.8$, $t_{0.01} = 2.79$, $p < 0.01$)。NaT 虽然在剖面底部有偏高,但黄棕色土的值(平均为 1.79)依然显著高于埋藏红土(平均为 1.49) ($t = 2.3$, $t_{0.05} = 2.06$, $p < 0.05$)。NaT 在网纹层下部偏高,可能与元素的大量淋失,Na 质矿物的相对富集有关。CaT

在黄棕色土(平均为 0.65)和埋藏红土中(平均为 0.64)无显著性差异,平均值分别为 0.65 和 0.64 ($t = 1.8$, $t_{0.05} = 2.06$, $p > 0.05$)。含 Ca 矿物在酸性环境中易风化蚀变。郎溪剖面黄棕色土和红土酸性强(平均 pH 分别为 5.5 和 5.95)。MgT、KT、NaT 值均表明了下部红土的风化强度要大于上部黄棕色土。

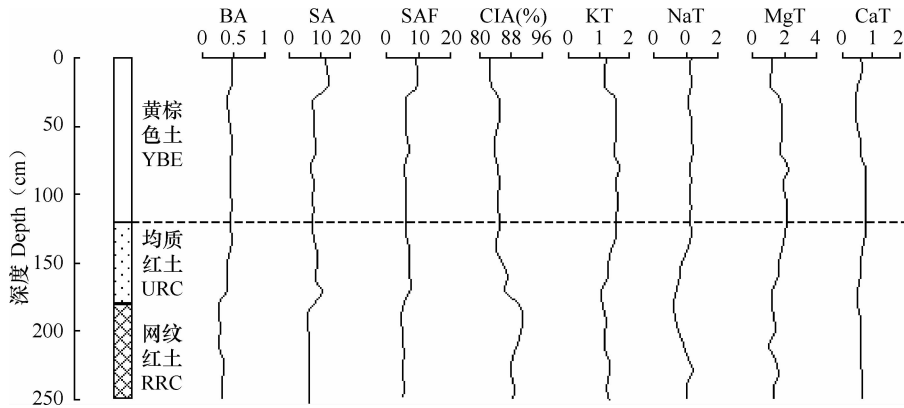


图6 安徽郎溪黄棕色土-红土剖面风化强度垂向分布曲线(水平虚线是黄棕色土和埋藏红土的分界线)

(SA = $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; SAF = $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$; KT = $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$; NaT = $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$; MgT = MgO/TiO_2 ; CaT = CaO/TiO_2)

Fig. 6 Vertical distribution curve of weathering intensity of the Yellow-brown Earth-Red Clay profile in Langxi, Anhui Province. The horizontal dashed line shows a boundary between the Yellow-brown Earth and the underlying Red Clay (YBE = Yellow-brown Earth; URC = Uniform Red Clay; RRC = Reticulate Red Clay)

3 讨论

3.1 郎溪黄棕色土和埋藏红土的物源和成因

郎溪剖面黄棕色土的粒度和元素地球化学性状,与九江、宣城黄棕色土和镇江下蜀黄土十分相近(表2和表3,图3和图5所示),与黄土高原典型黄土也有可比性。从黄棕色土空间分布的连续性和与风成黄土的相似性来判断,郎溪黄棕色土确实属于长江流域分布广泛的下蜀黄土,且与黄土高原黄土有相似的物源^[19]。

野外观察表明,郎溪剖面从黄棕色土至埋藏红土,呈连续过渡,无明显沉积间断。埋藏红土粒度组成与黄棕色土十分相近:不含砾石,砂粒含量很低,风尘粒级(粗粉砂)富集(平均为 43.87%),黏粒和细粉砂含量也较高。全剖面各粒度组分含量均匀而连续,未见大幅变化(图2)。红土的粒度频率分布曲线虽与黄棕色土和下蜀黄土有差异,但仍呈明显的继承性(图3)。与粒度组成特征相似,郎溪剖面常量元素含量均匀而连续(图4),典型层次多种微量元素平均含量的配分曲线十分相似(图5),进一步表明埋藏红土在物质组成上与黄棕色土

相近。因此,郎溪埋藏红土具有与下蜀黄土相似的风积成因特性,其母质可能是第四纪冰期的风尘物。

杨达源^[2]认为长江流域红土与下蜀黄土相似,是早更新世或中更新世的老黄土,可以称之为下蜀红土。后来的研究证实,九江、宣城等地的第四纪红土具风积成因特性^[5,7]。最新的研究表明,长江流域北纬 $29^\circ \sim 31^\circ$ 区域的第四纪红土具有风积成因特性,其物源与第四纪冰期大规模风尘沉积有关,在随后间冰期气候中才红土化^[3]。总之,郎溪埋藏红土的物源与下蜀黄土成因相似,是红化的老黄土。

3.2 郎溪黄棕色土-红土二元结构土壤剖面的古气候意义

郎溪剖面,从黄棕色土→埋藏红土,虽物质过渡均匀而连续,但颜色和土壤形态变化显著(表1),粒度变细(图2)。风化强度指标的研究也表明,黄棕色土→埋藏红土,风化逐渐增强(图6)。对中国南方第四纪红土中是否包含古气候信息,曾有大量争论^[20]。最近研究^[3,13,20]认为,中国南方第四纪气候变化剧烈,红土中古气候事件重叠,分辨率低,难以解译多旋回变化的古气候信息。但郎溪剖面,黄棕色土→埋藏红土,清晰地记录了一次重大的古气

候转型事件:其时,气候由湿热变为干冷,导致红土发育终止,代之以广泛的风尘沉积。李吉均等^[6]曾认为,九江网纹红土上部的黄棕色土是末次冰期的风尘物。若郎溪黄棕色土形成于末次冰期,那么黄棕色土→埋藏红土,可能记录了长江流域末次间冰期结束、末次冰期开始时的一次重大气候演变事件。

中国黄土清晰地记录了我国北方末次间冰期→末次冰期气候的重大变化^[21]。在黄土高原,末次间冰期时,夏季风强盛,形成第一层古土壤(S1),粒径细,成土作用强;但当末次冰期时,冬季风增强,气候寒冷,形成马兰黄土(L1),粒径粗,成土作用弱^[22]。末次间冰期→末次冰期,黄土高原从夏季风为主导转变成以冬季风为主,气候变得极其干冷^[23],产生的大量粉尘物质,被逐渐增强的冬季风携带进入长江流域(包括安徽宣城、郎溪、江西九江等地),并广泛堆积,形成了覆盖于第四纪红土之上的黄棕色土。因而,该区域黄棕色土的粒度和元素地球化学特征与风成黄土相近(表2和表3)。但有关郎溪剖面的古气候解释,还只局限于粒度和元素地球化学的研究,仍需确凿的年代学证据。

4 结 论

1) 郎溪剖面黄棕色土粒度组成和常量元素、微量元素地球化学特征与宣城、九江黄棕色土以及镇江下蜀黄土十分相近,与黄土高原黄土也有很好的可比性。说明郎溪黄棕色土与长江流域广泛分布的下蜀黄土同源,或者说其就是下蜀黄土。

2) 郎溪剖面粒度和元素地球化学组成均匀,没有大幅波动现象。尤其从黄棕色土→埋藏红土(包括均质红土和网纹红土),物质变化均匀而连续,充分表明埋藏红土物源与下蜀黄土相似,具风积成因特性,是一种红化的老黄土。

3) 与黄棕色土相比,埋藏红土的粒径偏细,风化显著增强。从黄棕色→埋藏红土反映的可能是长江流域的一次重大气候转型事件:其时,末次间冰期结束,末次冰期开始,气候逐渐变得干冷,红土发育终止,且有大量风尘物质堆积,形成覆盖于第四纪红土之上的黄棕色土。但这一推测仍需确切的年代学证据。

参 考 文 献

[1] 赵其国, 杨浩. 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究. 第四纪研究, 1995(2): 107—116. Zhao Q G, Yang H. A pre-

liminary study on red earth and changes of quaternary environment in south China (In Chinese). Quaternary Sciences, 1995(2): 107—116

- [2] 杨达源. 中国东部的第四纪风尘堆积与季风变迁. 第四纪研究, 1991(4): 354—358. Yang D Y, The Quaternary dust-fall accumulation and the monsoon variability in eastern China (In Chinese). Quaternary Sciences, 1991(4): 354—358
- [3] Hu X F, Wei J, Du Y, et al. Regional distribution of the Quaternary Red Clay with aeolian dust characteristics in subtropical China and its paleoclimatic implications. Geoderma, 2010(159): 317—334
- [4] 席承藩. 关于中国红色风化壳的几个问题. 中国第四纪研究, 1965(2): 42—54. Xi C F. Some problems of Chinese red residuum (In Chinese). Chinese Quaternary Sciences 4, 1965(2): 42—54
- [5] 胡雪峰, 龚子同, 夏应菲, 等. 安徽宣城黄棕色土和第四纪红土的比较研究及其古气候意义. 土壤学报, 1999, 36(3): 301—307. Hu X F, Gong Z T, Xia Y F, et al. Comparative study of yellow-brown earth and Quaternary red clay in Xuancheng, Anhui Province and its palaeo-climate significance (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(3): 301—307
- [6] 李吉均, 邓养鑫, 张林源, 等. 庐山第四纪环境演变和地貌发育问题. 中国科学, 1983, 8(8): 734—743. Li J J, Deng Y X, Zhang L Y, et al. Problems on Quaternary environmental evolution and geomorphic development in the Lushan Mountain (In Chinese). Science in China, 1983, 8(8): 734—743
- [7] 胡雪峰, 龚子同. 江西九江泰和第四纪红土成因的比较研究. 土壤学报, 2001, 38(1): 1—8. Hu X F, Gong Z T. Comparative study on the origin of quaternary red earth in Jiujiang and Taihe, Jiangxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(1): 1—8
- [8] 黄翥, 熊尚发. 江西九江第四纪红土中的植物硅酸体及孢粉. 微体古生学, 2001, 18(2): 203—210. Huang F, Xiong S F. Phytolith and pollen records of quaternary red earth in Jiujiang city, Jiangxi Province (In Chinese). Micropaleontology, 2001, 18(2): 203—210
- [9] 胡雪峰, 沈铭能, 方圣琼. 皖南网纹红土的粒度分布特征及古环境意义. 第四纪研究, 2004, 24(2): 160—166. Hu X F, Shen M N, Fang S Q. Grain-size of distribution of the reticulate red clay in southern Anhui Province and its paleo-environmental significance (In Chinese). Quaternary Sciences, 2004, 24(2): 160—166
- [10] 朱宗敏, 杨文强, 林文姣, 等. 安徽宣城第四纪网纹红土的磁组构特征及其意义. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(4): 105—110. Zhu Z M, Yang W Q, Lin W J, et al. Magnetic fabric characteristics and significance of reticulate red earth in Xuancheng profile, Anhui Province (In Chinese). Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(4): 105—110
- [11] 刘东生, 等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985: 191—208. Liu D S, et al. Loess and the environment (In Chinese) Beijing: Science Press, 1985: 191—208
- [12] 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. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(2): 25—32. Li X

- S, Yang D Y, Lu H Y. Grain-size features and genesis of the Xiashu loess in Zhenjiang (In Chinese). *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2001, 21(2): 25—32
- [13] 胡雪峰, 朱煜, 沈铭能. 南方网纹红土多元成因的粒度证据. *科学通报*, 2005, 50(9): 910—918. Hu X F, Zhu Y, Shen M N. Grain-size evidence for multiple origins of the reticulate red clay in southern China (In Chinese). *Science Bulletin*, 2005, 50(9): 910—918
- [14] 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. *土壤学报*, 2010, 47(5): 826—835. Wei J, Hu X F, Xu L F, et al. Dualistic structure of the Quaternary red clay in the middle reaches of the Yangtze River and its paleo-environmental implication (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(5): 826—835
- [15] Gallet S, Jahn B M, Brigitte V V L, et al. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 156(4): 157—172
- [16] 熊毅. *中国土壤*. 北京: 科学出版社, 1987: 495—537. Xiong Y. *Soils in China* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1987: 495—537
- [17] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. *元素地球化学*. 北京: 科学出版社, 1984: 30—49. Liu Y J, Cao L M, Li Z L, et al. *Element geochemistry* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1984: 30—49
- [18] Muhs D R, Bettis III, Been J. Impact of climate and parent material on chemical weathering in loess-derived soils of the Mississippi River Valley. *Soil Sci Soc Am J*, 2001, 65: 1 761—1 777
- [19] Yang S Y, Li C X, Yang D Y, et al. Chemical weathering of the loess deposits in the lower Changjiang Valley, China, and paleoclimatic implications. *Quaternary International*, 2004 (117): 27—34
- [20] 胡雪峰, 程天凡, 巫和昕. 南方网纹红土内是否可能存在多个“沉积-成土”过程的旋回? *科学通报*, 2003, 48(9): 969—975. Hu X F, Cheng T F, Wu H X. Do multiple cycles of aeolian deposit-pedogenesis exist in the reticulate red clay sections in southern China? *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(12): 1 251—1 258
- [21] Chen F H, Qiang M R, Feng Z D, et al. Stable East Asian monsoon climate during the Last Interglacial (Eemian) indicated by paleosol S1 in the western part of the Chinese Loess Plateau. *Global and Planetary Change*, 2003(36): 171—179
- [22] 张慧, 潘保田, 徐树建. 末次间冰期以来渭河上游气候演化的黄土记录研究. *中国沙漠*, 2007, 27(2): 182—186. Zhang H, Pan B T, Xu S J. Loess record of environment changes in upper reaches of Weihe river since last interglacial (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2007, 27(2): 182—186
- [23] 董光荣, 王贵勇, 李孝泽, 等. 末次间冰期以来我国东部沙区的古季风变迁. *中国科学*, 1996, 26(5): 437—444. Dong G R, Wang G Y, Li X Z, et al. Paleomonsoon change of sand area in east China since the last interglacial (In Chinese). *Science in China*, 1996, 26(5): 437—444

PEDOGENESIS OF YELLOW-BROWN EARTH-RED CLAY PROFILE IN LANGXI COUNTY, ANHUI PROVINCE AND PALEOCLIMATIC CHANGE IN THE YANGTZE RIVER VALLEY, SOUTHEAST CHINA IN THE LATE QUATERNARY PERIOD

Cai Fangping Hu Xuefeng[†] Du Yan Feng Jianwei

(Department of Environmental Science and Engineering, School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract Soil profiles of double-layer structure with Yellow-brown Earth (YBE) overlying Red Clay (RC) are commonly seen in the Xuancheng-Langxi-Guangde region, Anhui Province. Particle-size and geochemical characteristics of a selective YBE-RC soil profile in Langxi County, Anhui Province were studied. Results show that the YBE of the studied profile is quite coincident in particle-size composition and geochemical characteristics with that in Xuancheng and Jiujian, and also the Xiashu Loess in Zhenjiang, Jiangsu Province, which strongly suggests that the YBE in the study areas shares the same provenance with the Xiashu Loess, widely distributed along the Yangtze Valley. The Langxi profile is vertically even in particle-size and geochemical characteristics, and also shows continuous transition between YBE and RC without any depositional interruption. This suggests that the underlying RC of the profile shares a similar origin with the YBE and the Xiashu Loess and was derived from typical aeolian-dust deposition. Compared with the YBE, however, the underlying RC is finer in particle-size and more intensively weathered. The transition from the RC to the YBE might record a great paleoclimatic change at the early stage of the Late Pleistocene, when the Last Interglacial ended and the Last Glacial began. However, more work needs to be done to find some irrefutable chronological evidence.

Key words Xiashu Loess; Red Clay; Particle-size distribution; Geochemical characteristics; Paleoclimatic change