

九江下蜀黄土和红土的化学风化特征

曾方明^{1,2}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;
2. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008)

摘要:南方下蜀黄土和红土为研究亚热带地区的古风化强度提供了良好的地质记录。对九江两个下蜀黄土和红土剖面(JJ3 和 JJ4)的色度、磁化率和常量元素组成进行了研究。JJ3 和 JJ4 剖面沉积物的磁化率和红度(a^*)变化趋势较一致。与上地壳相比,九江下蜀黄土与红土的 Ca、Na 重度亏损, K 轻度亏损。九江下蜀黄土的 CIA 值小于 80,而红土的 CIA 值大于 80。Rb/Sr 比值和 CIA 值显著正相关(R^2 为 0.95),二者可有效指示下蜀黄土和红土的化学风化程度。

关键词:下蜀黄土;红土;古环境;化学风化;九江

中图分类号:P534.63;P532

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2018)01-0032-07

南方下蜀黄土和红土是亚热带第四纪地质与环境研究的重要沉积物^[1-5]。由于南方第四纪地质与环境的复杂性,不同时期、不同区域发育的红土在成因上具有多样性^[6]。安徽宣城和江西九江红土的粒度特征与下蜀黄土和北方黄土十分相似,表现出风积特征;而江西泰和、赣州红土的粒度特征与下蜀黄土和北方黄土不一致,表现出冲洪积特征^[6]。此外,在南方温湿的气候条件下,红土也可由花岗岩、砂岩等基岩风化而成^[7]。

安徽宣城下蜀黄土和红土的磁性地层学结果显示其底界年龄可达 0.85 Ma,很可能记录了 0.85 Ma 左右长江中下游开始发育风尘堆积^[8]。安徽郎溪和宣州下蜀黄土和红土的光释光年代学结果显示,下蜀黄土主要形成于末次冰期,而红土主要形成于末次间冰期^[1]。

江西九江的下蜀黄土和红土在地层结构上从上至下大致可分为下蜀黄土、均质红土层、网纹红土层^[9]。学者们主要从年代学^[10]、成因^[6]、粒度^[11]等方面对它们进行了研究。然而,目前对这套沉积的化学风化特征的研究还较少。本文对九江 JJ3 和 JJ4 剖面的磁化率、色度和元素组成进行了初步研究,以期为南方下蜀黄土和红土记录的

古环境研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

九江位于江西省北部,处于长江中游沿岸。该区砾石层之上普遍发育红土,红土之上常发育下蜀黄土^[10]。

JJ3 剖面(29.703 5°N, 116.014 9°E)为一建筑工地挖掘机开挖出来的断面(图 1)。该剖面位于九江汽车站以东约 600 m 的一小山丘上。剖面出露厚度 6 m。剖面自上而下的岩性为:0~2.1 m, 黄棕色下蜀黄土,以粉砂为主,无层理,质地疏松;2.1~6 m 为红土层,颜色呈红褐色,质地致密,含有铁锰胶膜,未见底。

JJ4 剖面(29.632 1°N, 116.074 7°E)为当地村民修路时露出的断面(图 1)。该剖面位于九江市庐山区威家镇星德村。剖面出露厚度约 5 m。剖面自上而下的岩性为:0~3.8 m, 黄棕色下蜀黄土,以粉砂为主,质地疏松;3.8~5 m 为红土层,质地致密,可见铁锰胶膜,未见底。

收稿日期:2016-01-05;修回日期:2016-11-05

基金项目:国家自然科学基金(41402314);中国科学院青年创新促进会(2017468)

作者简介:曾方明(1982-),男,博士,副研究员,主要从事第四纪地质研究。Email:fmzeng@163.com。

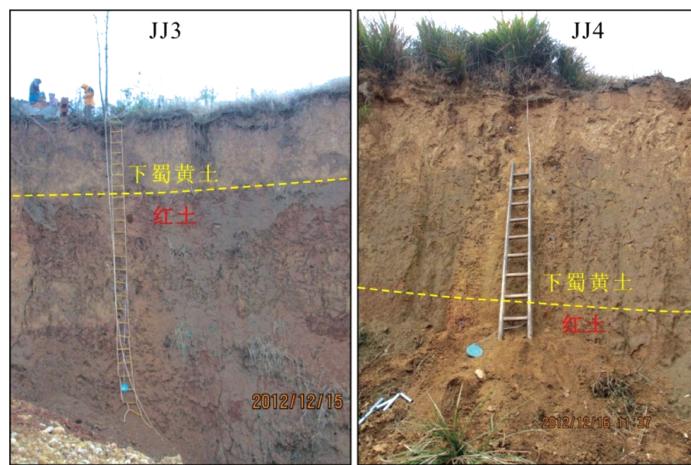


图1 九江JJ3和JJ4剖面野外照片

Fig. 1 Photos of JJ3 and JJ4 sections in Jiujiang

我们在JJ3剖面采集了8个袋装样品,其中4个为下蜀黄土;在JJ4剖面采集了7个袋装样品,其中6个为下蜀黄土。

1.2 方法

样品采集回来后,在室内风干。风干之后的样品用于磁化率、色度和元素组成的测试。

色度测试 取15 g自然风干样品,在玛瑙研钵中小心研磨成粉末状,尽量不破坏矿物颗粒;将研磨好的样品置于平整的铲子上,用铲子压平后采用美能达CM-2500c分光光度计进行测量。对每个样品测量3次,仪器自动计算平均值,显示 L^* (亮度)、 a^* (红度)、 b^* (黄度)值。测量结果的相对误差小于2%。实验在青海师范大学青藏高原环境与资源教育部重点实验室完成。

磁化率测试 在青海师范大学采用Bartington MS2磁化率仪进行测试,具体方法参见文献^[12]。

元素组成测试 风干样品经过玛瑙研钵充分磨细之后,每个样品分别称取4 g左右用压样机

在25 t压力下(保压60 s)压制而成片(直径32 mm)。压好的片直接用荷兰帕纳科公司生产的 Axios X射线荧光光谱仪(型号PW4400)进行元素测定。元素含量在中国科学院青海盐湖研究所盐湖化学分析测试中心测定,各常量元素的分析误差小于5%。

2 结果与讨论

2.1 磁化率、色度及其古环境意义

九江JJ3和JJ4剖面的磁化率和色度指标结果见表1。JJ3剖面的低频磁化率为37.23~182.31(单位为 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$),JJ4剖面的低频磁化率为26.92~135.22(单位为 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)。JJ3剖面的频率磁化率为9.26%~12.86%,JJ4剖面的频率磁化率为5.97%~12.20%。JJ3剖面的红度 a^* 为8.57~13.12,JJ4剖面的红度 a^* 为8.28~12.44。

表1 九江JJ3和JJ4剖面的磁化率和色度指标

Table 1 Magnetic susceptibility and color reflectance of JJ3 and JJ4 sections in Jiujiang

样号	深度/m	岩性	$\chi_{lf}/10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\chi_{hf}/10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\chi_{fd}/\%$	L^*	a^*	b^*
JJ3-1	0.5	下蜀黄土	182.31	160.69	11.86	58.82	9.35	25.70
JJ3-2	1.0	下蜀黄土	138.48	122.76	11.35	59.26	8.80	25.10
JJ3-3	1.5	下蜀黄土	42.60	37.90	11.04	62.80	8.57	26.39

续表 1:

样号	深度/m	岩性	$\chi_{lf}/10^{-8} m^3 \cdot kg^{-1}$	$\chi_{hf}/10^{-8} m^3 \cdot kg^{-1}$	$\chi_{fd}/\%$	L^*	a^*	b^*
JJ3-4	2.0	下蜀黄土	37.23	33.69	9.51	61.77	9.01	27.08
JJ3-5	2.5	红土	44.42	39.00	12.21	62.15	11.85	29.13
JJ3-6	3.5	红土	70.73	61.63	12.86	62.40	13.12	30.09
JJ3-7	4.5	红土	90.28	80.28	11.08	64.82	9.81	28.29
JJ3-8	5.5	红土	48.38	43.90	9.26	63.67	8.96	27.37
JJ4-1	0.5	下蜀黄土	107.76	94.61	12.20	60.54	9.00	26.49
JJ4-2	1.0	下蜀黄土	106.94	93.89	12.20	62.17	8.47	25.98
JJ4-3	1.5	下蜀黄土	135.22	120.48	10.90	58.68	9.21	25.96
JJ4-4	2.0	下蜀黄土	103.47	91.53	11.54	58.93	9.20	26.37
JJ4-5	2.5	下蜀黄土	35.10	31.80	9.41	62.29	8.32	27.11
JJ4-6	3.5	下蜀黄土	26.92	25.32	5.97	62.53	8.28	26.67
JJ4-7	4.9	红土	31.30	27.78	11.24	64.13	12.44	30.11

JJ3 剖面中,下蜀黄土的低频磁化率的平均值为 100.16(单位为 $10^{-8} m^3/kg$),红土的低频磁化率的平均值为 63.45(单位为 $10^{-8} m^3/kg$)。JJ4 剖面虽然只有一个样品为红土,但其低频磁化率值也小于上部下蜀黄土的值(图 2)。研究表明,赣北鄱阳湖地区的下蜀黄土是末次冰期的产物^[13]。因此,下蜀黄土形成时的气候条件可能较干冷。红土的低频磁化率值小于上部下蜀黄土的现象在安徽宣城的剖面中也被记录到^[14]。现代表土磁化率的研究结果表明,在我国长江以南广大地区,当年均温超过 15 ℃,年降雨量超过 1 100 mm 之后,土壤磁化率随着年均温、年降雨量的增高而降低^[15]。九江地区现代的年均温度约 17 ℃,年降雨量约为 1 300 mm^[16]。因此,九江地区红土的低频磁化率值低于上部的下蜀黄土,可能与红土形成时的温湿气候条件有关。

土壤的频率磁化率值通常与风化、成壤作用有关^[17~18]。JJ3 剖面中,下蜀黄土的频率磁化率值(平均值为 10.94%)略低于红土的频率磁化率值(平均值为 11.35%)(图 2),可能记录了红土形成时经历过比下蜀黄土更强的风化、成壤作用。

色度指标也被用于南方红土的古环境研究^[9]。在色度指标中,红度 a^* 可以定量表征地层的颜色变化。在 JJ3 和 JJ4 剖面中,红土的 a^* 总体上高于下蜀黄土(图 2)。九江下蜀黄土和红土的 a^* 与频率磁化率值具有一致的表现形式,二者

在空间上具有良好的可对比性,是下蜀黄土和红土地层对比的有效工具。

2.2 元素组成及化学风化程度

JJ3 和 JJ4 剖面的元素组成特征见表 2。JJ3 和 JJ4 剖面中,元素组成以 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 为主,这 3 种氧化物占到了 86% 以上。 K_2O 含量为 2.00% ~ 2.40%, Na_2O 含量为 0.26% ~ 1.01%, CaO 含量为 0.25% ~ 0.56%。

与上地壳(UCC)平均化学成分^[19~21]的对比表明,九江下蜀黄土和红土的绝大多数元素(如 Si 、 Al 、 Fe 、 K 、 Mg 、 Mn 、 Ti 、 P 、 Rb)基本类似于上地壳(图 3)。然而,与 UCC 相比,九江下蜀黄土和红土中的 Na 、 Ca 、 Sr 明显亏损。 Na_2O 标准化值的变化范围为 0.1 ~ 0.3, CaO 标准化值约为 0.1, Sr 标准化值的变化范围为 0.2 ~ 0.3(图 3)。九江下蜀黄土 Na_2O 标准化值的变化范围为 0.2 ~ 0.3(图 3a),而红土 Na_2O 标准化值约为 0.1(图 3b),表明九江红土的 Na_2O 亏损比下蜀黄土的 Na_2O 亏损更严重。 Na 、 Ca 、 Sr 明显偏离 UCC 的平均含量,表明九江下蜀黄土和红土遭受了显著的脱 Na 、 Ca 的化学风化。值得注意的是, K 元素也表现出轻度的亏损, K_2O 的标准化值的变化范围为 0.6 ~ 0.7,表明九江下蜀黄土和红土遭受了脱 K 的化学风化过程。

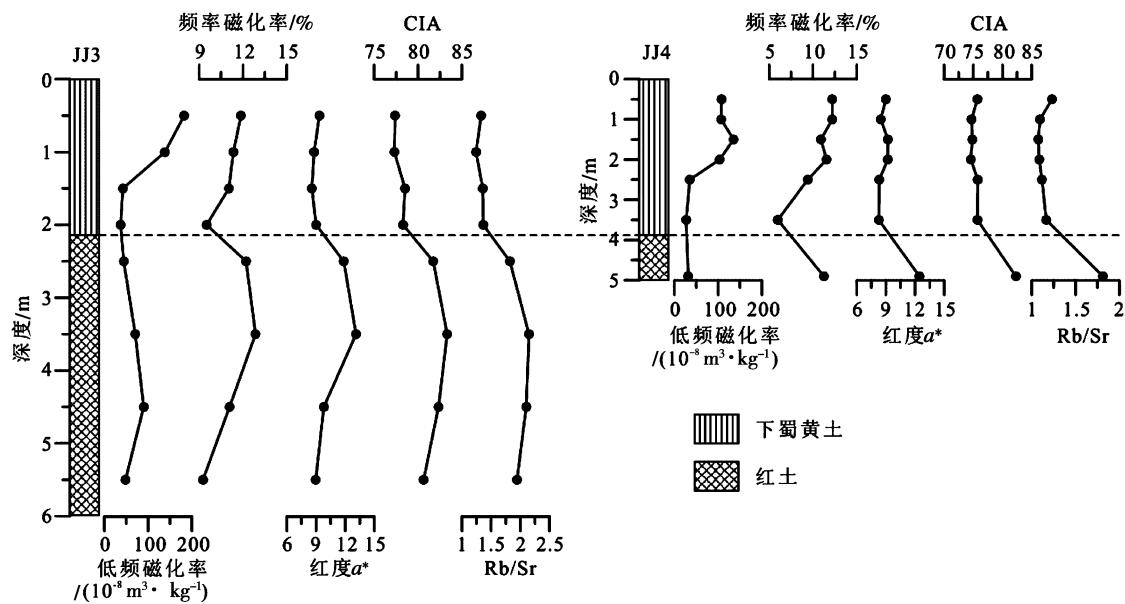


图2 JJ3 和 JJ4 剖面磁化率、色度、CIA 和 Rb/Sr 比值变化

Fig. 2 Variations of magnetic susceptibility, color reflectance, CIA and Rb/Sr ratio for JJ3 and JJ4 sections in Jiujiang

表2 九江JJ3 和 JJ4 剖面的元素组成特征

Table 2 Elemental compositions of JJ3 and JJ4 sections in Jiujiang

样 号	深 度 /m	SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	Fe ₂ O ₃ /%	K ₂ O /%	Na ₂ O /%	CaO /%	MgO /%	MnO /%	TiO ₂ /%	P ₂ O ₅ /%	Rb /10 ⁻⁶	Sr /10 ⁻⁶
JJ3 - 1	0.5	64.86	15.72	5.94	2.40	0.78	0.40	1.43	0.11	0.90	0.11	114	86
JJ3 - 2	1.0	65.33	15.45	5.77	2.32	0.76	0.42	1.41	0.12	0.92	0.09	110	89
JJ3 - 3	1.5	64.84	15.50	5.94	2.27	0.65	0.40	1.34	0.11	0.90	0.09	113	84
JJ3 - 4	2.0	64.48	15.82	6.20	2.35	0.68	0.40	1.40	0.13	0.92	0.09	114	83
JJ3 - 5	2.5	65.65	15.30	5.86	2.09	0.38	0.29	0.90	0.11	0.97	0.08	114	63
JJ3 - 6	3.5	64.36	15.66	6.55	2.11	0.26	0.25	0.79	0.09	0.97	0.08	115	53
JJ3 - 7	4.5	63.16	16.50	6.71	2.33	0.31	0.29	0.99	0.09	0.93	0.09	111	53
JJ3 - 8	5.5	64.30	16.01	6.31	2.36	0.40	0.35	1.09	0.10	0.93	0.11	117	60
JJ3 - 8 平行		64.35	15.96	6.27	2.35	0.39	0.35	1.08	0.10	0.93	0.11	115	60
JJ4 - 1	0.5	66.34	14.82	5.75	2.27	0.99	0.37	1.35	0.11	0.90	0.12	107	87
JJ4 - 2	1.0	65.94	14.88	5.83	2.28	1.01	0.50	1.44	0.11	0.90	0.13	108	99
JJ4 - 3	1.5	65.44	15.22	5.84	2.32	0.97	0.55	1.51	0.11	0.88	0.15	109	102
JJ4 - 4	2.0	66.15	14.81	5.69	2.26	0.97	0.56	1.43	0.10	0.88	0.15	110	102
JJ4 - 5	2.5	65.46	14.79	6.07	2.23	0.83	0.52	1.42	0.13	0.90	0.14	109	97
JJ4 - 6	3.5	65.42	15.27	5.84	2.32	0.85	0.54	1.46	0.12	0.90	0.11	110	95
JJ4 - 7	4.9	65.33	15.36	5.88	2.01	0.34	0.35	0.79	0.08	0.98	0.06	114	63
JJ4 - 7 平行		65.55	15.20	5.89	2.00	0.35	0.35	0.78	0.08	0.98	0.06	114	63
UCC		66.0	15.2	5.0	3.4	3.9	4.2	2.2	0.08	0.68	0.15	112	350

UCC 数据: TiO₂^[19]; P₂O₅^[20]; 其余氧化物^[21]

化学蚀变指数(CIA)是定量表征化学风化程度的指标^[22]。该指标通过估算长石风化成粘土矿物的比例来指示化学风化强度,被广泛用于我

国北方黄土—古土壤序列和南方下蜀黄土、红土的化学风化研究^[23-25]。CIA 计算的表达式为:

$$\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100,$$

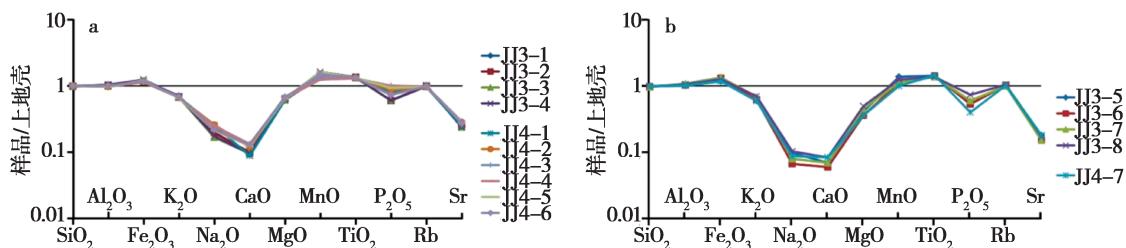


图 3 九江下蜀黄土(a)和红土(b)与上地壳元素比较

Fig. 3 The UCC-normalized values of elements in Xiashu loess (a) and red earth (b) from JJ3 and JJ4 sections in Jiujiang

各氧化物按摩尔数计算,其中 CaO^* 仅指硅酸盐中的 CaO ,需要进行磷酸盐和碳酸盐的校正^[22]。本文由于缺少 CO_2 数据,未能进行碳酸盐校正。磷酸盐校正按照 $\text{CaO}^{**} = \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10/3$ 计算^[26-27]。磷酸盐校正后,假定硅酸盐矿物中初始的摩尔数 $\text{Na}_2\text{O} : \text{CaO} = 1 : 1$ 。在风化过程中 Ca 比 Na 更容易快速地从硅酸盐矿物中迁出,若摩尔数 $\text{CaO}^{**}/\text{Na}_2\text{O} \leq 1$, CIA 计算中的 CaO^* 采用 CaO^{**} 的摩尔含量;若摩尔数 $\text{CaO}^{**}/\text{Na}_2\text{O} > 1$, CIA 计算中的 CaO^* 采用 Na_2O 的摩尔含量^[26]。通过上述方法,计算了九江下蜀黄土和红土的 CIA 值(图 4)。

在沉积物的矿物中,斜长石富含 Na ,而钾长石、伊利石和云母等富含 K 。在地表环境中,由于 K^+ 的离子半径大,粘土对 K^+ 的吸附性能大于 Na^+ ,从而导致在化学风化过程中 K^+ 、 Na^+ 元素发生分异。因此, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 之比(摩尔比)是衡量沉积物中斜长石风化程度的指标,可以反映沉积物在表生环境中粘化的程度^[28]。由于斜长石的风化速率远大于钾长石,因此风化剖面中的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值与其化学风化程度呈反比^[25]。九江 JJ3 和 JJ4 剖面下蜀黄土的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 $0.43 \sim 0.67$,红土的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 $0.19 \sim 0.28$ (图 4)。

碎屑岩的 CIA 值结果表明,CIA 值变化范围在 $65 \sim 80$ 之间,为中等程度的化学风化,CIA 值大于 80 为强烈的化学风化^[22]。CIA 值可以很好地反映沉积物所遭受的化学风化作用强度^[23, 29]。九江 JJ3 和 JJ4 剖面下蜀黄土的 CIA 值为 $74.57 \sim 78.51$,红土的 CIA 值为 $80.64 \sim 83.33$ (图 4)。九江 JJ3 和 JJ4 剖面下蜀黄土的 CIA 值和长江下游黄土的 CIA 值^[23]一致,均小于 80。因此,CIA

值表明 JJ3、JJ4 剖面的下蜀黄土经历了较弱的化学风化,而红土则经历了较强的化学风化作用。过去的研究表明,下蜀黄土可能形成于末次冰期,而下伏的红土则可能形成于末次间冰期^[1]。一般而言,在水热条件方面,末次冰期的温度要比末次间冰期的低,降雨也比末次间冰期的少。较高的温度和较多的降水,通常会加剧沉积物的化学风化作用。九江下蜀黄土的 CIA 值低于红土的 CIA 值,可能表明下蜀黄土沉积时的古环境以冷干为主,而红土堆积时的古环境以温湿为主。

Rb/Sr 比值是另一个常用的反映化学风化程度的指标^[30-31]。由于 Rb 主要赋存在较稳定的含 K 矿物中,而 Sr 主要赋存在不稳定的含 Ca 矿物中,因此含 Ca 矿物的风化导致 Sr 迁出,造成风化剖面中 Rb/Sr 比值的升高^[25]。九江 JJ3 和 JJ4 剖面中 Rb/Sr 比值与 CIA 值显著线性正相关,决定系数 R^2 为 0.95(图 4)。按照拟合的函数(图 4),当 CIA 值等于 80,计算出 Rb/Sr 比值等于 1.56。红土的 Rb/Sr 比值大于 1.56,指示九江红土遭受了强烈的化学风化。

JJ3 和 JJ4 剖面的 CIA 值和 Rb/Sr 比值具有一致的变化特征,并和频率磁化率和红度变化特征可以很好地对比(图 2),它们都是南方下蜀黄土和红土古风化强度的有效代用指标。

3 结 论

1) 在地层对比上,磁化率和红度是很好的地层对比指标。频率磁化率、红度、CIA、 Rb/Sr 比值可有效指示下蜀黄土和红土化学风化强度的变化。

2) 与上地壳相比,九江下蜀黄土与红土的

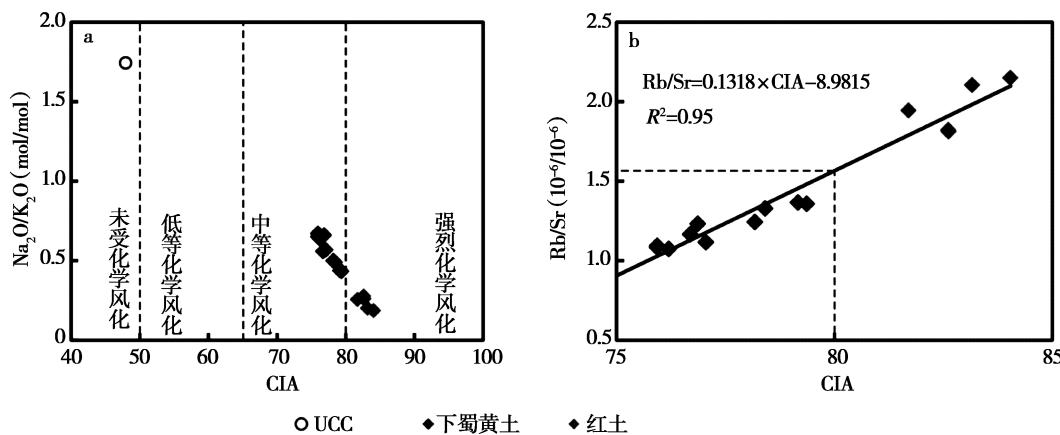


图4 JJ3 和 JJ4 剖面的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比和 CIA 关系(a)与 Rb/Sr 比和 CIA 关系(b)

Fig. 4 Plots of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ vs. CIA (a) and Rb/Sr ratio vs. CIA (b) in JJ3 and JJ4 sections

Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 严重亏损, K^+ 轻度亏损。红土的 K^+ 亏损比下蜀黄土的严重。

3) 九江下蜀黄土遭受了中等程度的化学风化(CIA 值小于 80),而红土遭受了强烈的化学风化(CIA 值大于 80)。

致谢:感谢审稿专家提出的建设性修改意见。

参考文献:

- [1] Hu X F, Du Y, Liu X J, et al. Polygenetic case of loess overlying red clay as a response to the Last Glacial-Interglacial cycle in mid-subtropical Southeast China [J]. Aeolian Research, 2015, 16: 125 – 142.
- [2] 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, 15(2): 107 – 116.
- [3] Xie S C, Yi Y, Liu Y Y, et al. The Pleistocene vermicular red earth in South China signaling the global climatic change: The molecular fossil record [J]. Science in China (Series D), 2003, 46(11): 1113 – 1120.
- [4] Hao Q Z, Guo Z T, Qiao Y S, 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.
- [5] Liu F, Li G J, Chen J. U-Pb ages of zircon grains reveal a proximal dust source of the Xiashu loess, Lower Yangtze River region, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(20): 2391 – 2395.
- [6] Hu X F, Zhu Y, Shen M N. Grain-size evidence for multiple origins of the reticulate red clay in southern China [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(9): 910 – 918.
- [7] 杨元根, 刘丛强, 袁可能, 等. 南方红土形成过程及其稀土元素地球化学 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(5): 469 – 480.
- [8] 乔彦松, 郭正堂, 郝青振, 等. 皖南风尘堆积—土壤序列的磁性地层学研究及其古环境意义 [J]. 科学通报, 2003, 48(13): 1465 – 1469.
- [9] Hu X F, Du Y, Guan C L, et al. Color variations of the Quaternary Red Clay in southern China and its paleoclimatic implications [J]. Sedimentary Geology, 2014, 303: 15 – 25.
- [10] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 九江地区网纹红土的时代 [J]. 地质力学学报, 1997, 3(4): 27 – 32.
- [11] 张明强, 朱丽东, 姜永见, 等. 九江 JL 红土剖面记录的中更新世气候转型事件 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(6): 115 – 123.
- [12] 曾方明, 赖忠平, 刘向军. 磁化率测量过程中样品重量对磁化率的影响 [J]. 盐湖研究, 2014, 22(3): 22 – 26.
- [13] 凌超豪, 龙进, 贾玉连, 等. 赣北鄱阳湖地区土塘剖面第四纪红土地球化学特征及古气候意义 [J]. 古地理学报, 2015, 17(5): 699 – 708.
- [14] Qiao Y S, Guo Z T, Hao Q Z, et al. Loess-soil sequences in southern Anhui Province: Magnetostratigraphy and paleoclimatic significance [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(19): 2088 – 2093.
- [15] 吕厚远, 韩家懋, 吴乃琴, 等. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义 [J]. 中国科学(B辑), 1994, 24(12): 1290 – 1297.
- [16] 朱丽东, 周尚哲, 李凤全, 等. 庐山 JL 红土剖面的色度气候意义 [J]. 热带地理, 2007, 27(3): 193 – 197, 202.
- [17] Zhou L P, Oldfield F, Wintle A G, et al. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess [J]. Nature, 1990, 346: 737 – 739.
- [18] Song Y, Hao Q Z, Ge J Y, et al. Quantitative relationships between magnetic enhancement of modern soils and climatic variables over the Chinese Loess Plateau [J]. Quaternary International, 2014, 334 – 335: 119 – 131.

- [19] McLennan S M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2001, 2: paper number 2000GC000109.
- [20] Gao S, Luo T C, Zhang B R, et al. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62 (11): 1959 – 1975.
- [21] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985.
- [22] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. *Nature*, 1982, 299 (5885): 715 – 717.
- [23] 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 [J]. *Quaternary International*, 2004, 117 (1): 27 – 34.
- [24] Qiao Y S, Hao Q Z, Peng S S, et al. Geochemical characteristics of the eolian deposits in southern China, and their implications for provenance and weathering intensity [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2011, 308 (3 – 4): 513 – 523.
- [25] Chen J, An Z S, Liu L W, et al. Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5 Ma and chemical weathering in the Asian inland [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 44 (5): 403 – 413.
- [26] McLennan S M. Weathering and global denudation [J]. *The Journal of Geology*, 1993, 101: 295 – 303.
- [27] Fedo C M, Nesbitt H W, Young G M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance [J]. *Geology*, 1995, 23 (10): 921 – 924.
- [28] Nesbitt H W, Markovics G, Price R C. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44 (11): 1659 – 1666.
- [29] 曾方明, 刘向军, 叶秀深, 等. 青海湖种羊场风成沉积的常量元素组成及其化学风化指示 [J]. 盐湖研究, 2015, 23 (1): 1 – 7, 15.
- [30] Dasch E J. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments, and sedimentary rocks [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1969, 33 (12): 1521 – 1552.
- [31] Chen J, An Z S, Head J. Variation of Rb/Sr ratios in the loess-paleosol sequences of Central China during the last 130 000 years and their implications for monsoon paleoclimatology [J]. *Quaternary Research*, 1999, 51 (3): 215 – 219.

Chemical Weathering of Xiashu Loess and Red Earth in Jiujiang, Jiangxi Province

ZENG Fang-ming^{1,2}

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources,

Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. *Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Xining, 810008, China*)

Abstract: Xiashu loess and red earth in southern China provide valuable records for investigating the strength of chemical weathering during the Quaternary in subtropical zone. Here we investigate the reflectance, magnetic susceptibility and major elements of two Xiashu loess and red earth sections (JJ3 and JJ4) from Jiujiang, Jiangxi Province. Magnetic susceptibility and redness (a^*) are good proxies for stratigraphic correlation of Xiashu loess and red earth in the space. Compared with the average compositions of the upper continental crust (UCC), Ca and Na of Xiashu loess and red earth in JJ3 and JJ4 sections are seriously depleted, and K is slightly depleted. Values of chemical index of alteration (CIA) of Xiashu loess in JJ3 and JJ4 sections are less than 80, but CIA values of red earth are greater than 80, indicating that red earth suffered stronger chemical weathering than Xiashu loess in Jiujiang. Rb/Sr ratio is significantly positively correlated with CIA values ($R^2 = 0.95$). Both CIA values and Rb/Sr ratio can effectively indicate the chemical weathering of Xiashu loess and red earth in Jiujiang.

Key words: Xiashu loess; Red earth; Paleoenvironment; Chemical weathering; Jiujiang