

# 安徽宣州黄棕色土和第四纪红土的比较研究及其古气候意义

胡雪峰 龚子同

(中科院南京土壤研究所, 南京 210008)

夏应菲 眭云霞 杜剑华

(南京师范大学地理系)

(南京大学现代分析中心顺磁室)

**摘要** 通过地貌和典型剖面的考察和研究,发现安徽宣州地区黄棕色土的层序位于第四纪红土层之上。用 ESR 测年法测得黄棕色土年龄约为 80kaB.P., 红土年龄约为 240kaB.P.。对这两种成土母质的各项理化性状和磁化率指标进行比较研究,发现黄棕色土受风化作用的程度不如第四纪红土。这表明该地区 24 万年前的湿热气候至 8 万年左右开始转凉,不适于红土的形成。现今该地区出露的红土都是中更新时期古气候的产物,而黄棕色土则是与近代气候环境更相接近的一种沉积物。

**关键词** 黄棕色土, 第四纪红土, ESR 测年法, 古气候

**中图分类号** S159

安徽宣州地区地处红黄土交接带,该地区既有第四纪红土出露,又有黄棕色下蜀黄土(本文以黄棕色土称之)分布<sup>[1,2]</sup>。席承藩<sup>[3]</sup>对江南红色风化壳和与之并存的棕色粘土层有过专门的论述,认为棕色粘土层(下蜀层)的形成时期应比红色粘土晚。本研究旨在进一步确定这两种沉积物的层序关系和形成年代,比较彼此的理化性状和风化程度,以揭示第四纪不同时期气候条件的变化。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地区的自然状况

宣州市地处安徽省东南部,为皖南山区与沿江平原的过渡带,北纬 30°17′-31°19′,东经 117°58′-119°40′,地处中亚热带北缘。年平均气温在 15.4℃~15.9℃;年平均降水量在 1143.2-1503.4mm 之间,>10℃的活动积温在 4877.5-5059.4℃。本区主要土壤类型有富铁土、淋溶土、人为土等(土壤分类按照“中国土壤系统分类”(修订方案))。富铁土为 4.53×10<sup>5</sup>公顷,占该地区土壤总面积的 51.3%,其中第四纪红土上发育的富铁土达 1×10<sup>5</sup>公顷;淋溶土 3.7×10<sup>4</sup>公顷,占土壤总面积的 4.16%。

研究区域选在宣州市西部杨柳镇华村的甘露山。甘露山相对高程约为 100m,山顶为平缓的岗地,成

土母质都为黄棕色土,自 50 年代起开辟为茶园;沿山坡向下,黄棕色层逐渐变薄,至山腰,黄棕色土层消失,成土母质变为第四纪红土,此处侵蚀严重,有第四纪红土层中的焦斑层和网纹层出露,植被多为茅草和马尾松;至山脚低洼地,成土母质又变回到黄棕色土,层次较深。

### 1.2 典型剖面的设置

沿甘露山山顶至山腰设置三个研究剖面:  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 。  $H_1$  位于山顶,剖面各层为黄棕色土;  $H_2$  位于山坡,坡势较缓,剖面上部为黄棕色土,下部为第四纪红土;  $H_3$  位于山腰,坡势陡,剖面各层都为第四纪红土。各研究剖面特征的描述见表 1。

表 1 土壤剖面性状的描述

Table 1 Description of feature of soil profiles

剖面 Profile	深度 (cm) Depth	颜色 Colour	土壤结构和基本形态 Structure and morphology
$H_1$ (山顶)	0~30	10YR(5/8)黄棕	团粒结构,有少量植株根系
	30~50	10YR(5/8)黄棕	团粒结构,有粘粒淀积层
	50~70	10YR(5/4)浊黄棕	块状结构,有铁锰结核,少量灰白斑纹
	70~90	10YR(6/2)灰黄棕	块状结构,有大量铁锰结核,少量灰白斑纹
	90~	10YR(6/2)灰黄棕	块状结构,有大量铁锰结核,大量灰白斑纹
$H_2$ (山坡)	0~20	10YR(4/8)黄棕	团粒结构,有少量植株根须
	20~50	10YR(4/8)黄棕	团粒结构
	50~80	5YR(4/8)红棕	块状结构
	80~100	10R(4/8)红	块状结构,有铁锰结核,少量灰白斑纹
	100~130	10R(5/8)红	块状结构,大量铁锰结核和灰白斑纹
	130~160	10R(5/6)红	块状结构,大量铁锰结核和灰白斑纹
	160~200	10R(5/6)红	块状结构,大量铁锰结核和灰白斑纹
	200~260	2.5YR(7/6)橙	块状结构,灰白网纹层
260~	2.5YR(7/6)橙	块状结构,灰白网纹层	
$H_3$ (山腰)	0~20	10R(3/6)暗红	团粒结构,有植株根须
	20~40	10R(4/8)红	团粒结构
	40~70	10R(5/8)红	团粒结构,少量灰白斑纹
	70~90	10R(6/8)红橙	块状结构,少量灰白斑纹
	90~	少量砾石	

### 1.3 样品的采集和分析

按照表 1 所列各层采集土样;在  $H_1$  的 90cm 处,  $H_2$  的 50cm 和 150cm 处,  $H_3$  的 90cm 处(四点分别以 A、B、C、D 表示)采集土样,迅速用黑纸包扎,放入黑包中,作土样 ESR 法测年用。

土壤样品的预处理及各项理化指标分析见文献<sup>[4]</sup>;土样 ESR 年龄测定的原理和方法见文献<sup>[5]</sup>;土样磁化率的测定用 Model-942 Series 1 型号的磁力仪。

## 2 结果与讨论

### 2.1 黄棕色土和第四纪红土的形成年代

考察研究地区的地貌发现,黄棕色土一般分布在平缓的山岗和山脚低洼地带,而第四

纪红土主要分布在陡峭的坡地和遭受侵蚀的小山丘。显然山坡地带出露红土是由于该地易遭受侵蚀, 原先的黄棕色土层被剥揭的缘故。据此可判断黄棕色土的层序应位于第四纪红土之上, 它的形成年代应比红土层晚。但这只是说明了两者的相对年龄。

为了进一步确立该地区第四纪环境变化的时空框架, 用 ESR 法对这两种成土母质进行绝对年龄的测定。首先从测试点的土样中提取出石英颗粒, 接受不同剂量的  $\gamma$  射线辐照后, 测定 ESR 波谱。根据波谱强度的不同, 采用与文献 [5, 6] 相同的方法推算出 A、B、C、D 各点的等效剂量, 其值分别为 695、740、2102、2068Gy。年剂量采用文献 [6] 中宣城剖面 1 至 5 层年剂量率的平均值:  $854 \times 10^{-5}$ Gy/a。由此可得 A、B、C、D 各点的 ESR 年龄分别为 81.382, 86.651, 246, 242ka. B. P.。由于年剂量的关系, A 与 B 两点的测年误差约为 2 万年; C 与 D 两点误差约为 5 万年。A 与 B, C 与 D 年龄相近, 表明  $H_1$  母质和  $H_2$  上部黄棕色层形成年代较接近; 而  $H_2$  下部和  $H_3$  母质形成年代也相近。表明两者同属第四纪红土。据此可推断研究地区在约 240kaB. P. 左右的中更新世, 气候湿热, 风化壳富铝化作用强烈, 是红土发育带; 而在 80kaB. P. 左右的晚更新世, 该地区气候转冷, 红土发育受阻, 形成黄棕色沉积层。

表2 黄棕色土和第四纪红土基本理化性状比较

Table 2 Comparison of the basic physical and chemical properties of yellow-brown earth and Quaternary red clay

剖面 Profile	深度 Depth (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	CEC (cmol/kg)	交换性盐基 Exchangeable bases				盐基饱 和度 (%) Base saturation	
					总量 Total	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup>
H <sub>1</sub> (黄棕色土)	0~30	5.04	3.91	15.8	8.87	4.45	4.08	0.12	0.22	56.1
	30~50	5.27	3.91	17.2	10.31	4.91	5.20	0.08	0.12	59.9
	50~70	5.33	3.88	15.6	9.03	4.73	4.08	0.09	0.13	57.9
	70~90	5.67	3.88	18.6	10.40	5.01	5.12	0.10	0.17	55.9
	平均	90~	5.47	3.83	20.7	11.29	5.72	5.23	0.19	0.15
H <sub>2</sub> (黄棕色层)	0~20	5.36	3.88	17.6	9.98	4.96	4.74	0.11	0.16	56.9
	20~50	5.24	3.85	15.9	9.39	4.60	4.32	0.26	0.21	59.1
	50~80	5.28	3.86	16.7	8.74	4.21	4.23	0.19	0.11	52.3
	80~100	5.26	3.86	16.3	9.07	4.41	4.28	0.23	0.16	55.7
	平均	100~130	5.26	3.86	16.3	9.07	4.41	4.28	0.23	0.16
H <sub>3</sub> (第四纪红土)	0~20	4.89	3.75	11.5	4.12	2.54	1.36	0.11	0.11	35.8
	20~40	4.90	3.78	10.6	4.32	2.73	1.40	0.09	0.10	40.8
	40~70	4.82	3.76	10.4	3.62	2.51	0.92	0.08	0.11	34.8
	70~90	4.92	3.68	9.8	2.87	1.75	0.95	0.08	0.09	29.2
	平均	160~200	4.96	3.76	9.8	2.91	1.85	0.89	0.09	0.08
H <sub>3</sub> (第四纪红土)	200~260	4.95	3.71	9.4	2.32	1.36	0.80	0.08	0.08	24.7
	0~20	4.91	3.74	10.3	3.36	2.12	1.05	0.09	0.10	32.5
	20~40	5.08	3.77	11.4	3.89	2.40	1.24	0.13	0.12	34.1
	40~70	5.06	3.78	11.0	3.96	2.04	1.60	0.13	0.19	36.0
	平均	70~90	5.17	3.83	10.5	3.96	2.19	1.53	0.08	0.16
平均	5.12	3.79	10.8	3.95	2.20	1.48	0.11	0.16	36.8	

## 2.2 黄棕色土和第四纪红土基本理化性状比较

基本理化性状的数据(表 2)显示:  $H_2$  为二元相母质构造, 上层(0~50cm)性状与  $H_1$  接近, 下层(50~260cm)与  $H_3$  相似, 这与年代学研究结论吻合。黄棕色土和第四纪红土各项理化性状指标有一定的差异。首先, 前者的 pH 值略高于后者: 前者的  $pH_{(H_2O)}$  和  $pH_{(KCl)}$  平均分别为 5.31 和 3.87, 后者分别为 5.01 和 3.77; 其次, 前者的 CEC 值(17.6 和 16.3cmol/kg) 高于后者(10.3 和 10.8cmol/kg), 说明前者 2:1 型粘土矿物的含量高于后者, 而二、三氧化物的含量低于后者; 第三, 前者的盐基饱和度(为 56% 和 55.7%)比后者(32.5% 和 36.8%)平均高 20% 左右, 表明黄棕色土盐基离子受淋溶的程度没有第四纪红土强烈。

## 2.3 黄棕色土和第四纪红土风化程度的比较

对三个研究剖面各层的主要化学元素含量进行比较分析(表 3), 发现  $H_1$  黄棕色土和  $H_2$  的黄棕色土层,  $H_3$  第四纪红土和  $H_2$  的第四纪红土层元素含量较接近, 这进一步说明了它们彼此物质的同源性。为了便于比较, 算得黄棕色土各层  $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  平均含量分别为 756.49、46.59、104.48mg/g,  $CaO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$  分别为 0.11、1.27、11.15、2.84mg/g; 第四纪红土各层  $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  平均含量分别为 696.15、77.87、132.77mg/g,  $CaO$ 、 $MgO$ 、

表3 黄棕色土和第四纪红土主要化学成分比较(mg/g)

Table 3 Comparison of dominant element contents in yellow-brown earth and Quaternary red clay (mg/g)

剖面	层次	烧失量											
Profile	(cm)		$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	CaO	MgO	$TiO_2$	MnO	$K_2O$	$Na_2O$	$P_2O_5$	
	Horizon	Ign.loss											
$H_1$ (黄棕色土)	0~30	71.63	764.38	40.57	88.53	0.10	1.18	18.39	0.65	10.89	2.67	0.73	
	30~50	49.94	768.79	43.48	97.46	0.10	1.12	18.81	0.62	11.75	2.91	0.86	
	50~70	49.62	753.80	48.39	111.76	0.12	1.45	18.32	0.73	11.02	2.56	0.77	
	70~90	47.55	750.85	47.64	112.10	0.13	1.54	19.31	0.88	11.99	3.37	0.99	
	平均	90~	50.00	749.29	47.26	111.72	0.13	1.50	18.64	1.04	11.61	3.39	0.60
		53.75	757.42	45.47	104.31	0.12	1.36	18.69	0.78	11.45	2.98	0.79	
$H_2$ (黄棕色土层)	0~20	57.20	754.29	46.70	103.77	0.11	1.12	18.24	0.73	10.52	2.49	0.68	
	20~50	50.95	754.05	52.11	106.05	0.10	0.96	17.95	0.78	10.30	2.52	0.56	
	平均		54.08	754.17	49.41	104.91	0.11	1.04	18.10	0.76	10.41	2.51	0.62
	50~80	57.69	722.08	59.96	122.75	0.02	1.12	18.26	0.58	10.53	1.29	0.71	
	80~100	63.72	698.06	70.37	132.28	0.03	0.99	17.45	0.47	9.85	0.96	0.69	
(第四纪红土层)	100~130	63.22	670.49	122.03	117.76	—	0.94	18.24	0.54	9.20	0.92	0.79	
	130~160	62.82	671.14	102.06	132.63	—	0.99	16.73	0.32	8.74	0.74	0.73	
	平均	160~200	66.72	675.29	85.06	134.87	—	0.91	17.76	0.55	11.17	0.71	0.75
	200~260	65.21	676.78	92.70	135.08	—	1.09	16.85	0.30	8.84	0.78	0.66	
			63.23	685.64	88.70	129.23	0.03	1.01	17.55	0.46	9.72	0.90	0.72
$H_3$ (第四纪红土)	0~20	59.48	704.79	54.43	146.29	0.02	0.98	17.17	0.38	10.77	1.04	0.66	
	20~40	56.44	709.72	53.66	145.74	0.02	0.98	18.88	0.46	11.39	0.98	0.70	
	40~70	54.77	712.66	64.17	134.13	0.05	0.98	16.08	0.36	11.19	1.06	0.64	
	平均	70~90	46.17	720.46	74.21	126.18	0.05	1.00	16.41	0.40	11.61	0.99	0.70
			54.22	711.91	61.62	138.09	0.04	0.99	17.14	0.40	11.24	1.02	0.68

$K_2O$ 、 $Na_2O$  分别为 0.02、1.00、10.33、0.95mg/g。从中可发现第四纪红土脱硅富铁铝化和盐基离子的淋失程度比黄棕色土强烈。

为了进一步比较黄棕色土和第四纪红土的风化程度,以表 3 所得的各项数据为基础,计算了各层风化淋溶系数和铁的游离度和活化度。结果表明(表 4),黄棕色土硅铝率和硅铁铝率平均分别为 12.32 和 9.56,第四纪红土分别 8.93 和 6.58,前者分别高 3.4 和 3.0 个单位;黄棕色土 ba 平均为 0.19,红土则为 0.12。说明第四纪红土脱硅富铁铝化和盐基淋失比黄棕色土强烈。第四纪红土铁的游离度平均为 60.25%,比黄棕色土的 48.78% 高约 11.5%,说明前者的风化程度较后者深。但第四纪红土铁的活化度平均为 8.9%,比黄棕色土的 16.9% 低 8.0%。这显然是由于红土风化程度深,在现代气候条件下较为稳定,且形成时代久远的缘故。黄棕色土较年轻,而且风化成土作用依然在进行,因而铁的活化度较高。

表4 黄棕色土和第四纪红土风化程度指标比较

Table 4 Comparison of weathering degree index and iron forms between yellow-brown earth and Quaternary red clay

剖面 profile	深度 Depth (cm)	硅铝率 Sa	硅铁铝率 Saf	ba值 <sup>1)</sup>	全铁 Total iron ( $Fe_2O_3$ ) mg/g	游离铁 Free iron ( $Fe_2O_3$ ) mg/g	活性铁 Active iron ( $Fe_2O_3$ ) mg/g	游离度 Free iron (%)	活化度 Active iron (%)	
H <sub>1</sub> (黄棕 色土)	0~30	14.64	11.38	0.22	40.57	19.52	3.11	48.11	15.9	
	30~50	13.34	10.41	0.21	43.48	21.68	2.81	49.86	12.96	
	50~70	11.42	8.97	0.18	48.39	23.00	4.05	47.53	17.6	
	70~90	11.37	8.94	0.20	47.64	23.32	4.34	48.95	18.61	
	90~	11.35	8.92	0.20	47.26	21.83	4.08	46.19	18.69	
平均		12.42	9.72	0.20	45.47	21.87	3.68	48.13	16.75	
H <sub>2</sub> (黄棕 色层)	0~20	12.32	9.60	0.18	46.70	23.34	4.11	49.98	17.61	
	20~50	12.09	9.18	0.17	52.11	25.46	4.22	48.86	16.58	
	平均		12.21	9.39	0.18	49.41	24.4	4.17	49.42	17.10
	50~80	10.03	7.61	0.13	59.96	36.30	4.43	60.54	12.2	
	80~100	8.95	6.68	0.11	70.37	41.10	4.57	58.41	11.1	
(第四纪 红土层)	100~130	9.71	5.85	0.12	122.03	67.80	3.38	55.56	4.99	
	130~160	8.61	5.77	0.10	102.06	56.27	3.98	55.13	7.07	
	160~200	8.52	6.08	0.12	85.06	47.64	3.96	56.00	7.89	
	200~260	8.55	5.94	0.10	92.70	52.82	4.41	56.98	8.35	
	平均		9.06	6.32	0.11	88.70	50.2	4.12	57.10	8.60
H <sub>3</sub> (第四 纪红土)	0~20	8.22	6.64	0.11	54.43	36.63	3.79	67.30	10.35	
	20~40	8.27	6.72	0.11	53.66	35.58	4.03	66.31	11.33	
	40~70	9.00	6.91	0.12	64.17	40.43	3.01	63.01	7.45	
	70~90	9.68	7.06	0.13	74.21	42.25	3.23	56.93	7.65	
	平均		8.79	6.83	0.12	61.62	38.72	3.52	63.39	9.20

1)  $ba = (Na_2O + K_2O + MgO + CaO) / Al_2O_3$  (分子比)

## 2.4 黄棕色土和第四纪红土磁化率特性比较

对三个典型剖面各层次的磁化率进行了测定,结果表明(表5),黄棕色土和第四纪红土磁化率值的大小及其在剖面中的分布规律均有较大的差异。 $H_3$ 第四纪红土表层和亚表层磁化率  $75.5 \times 10^{-5}$ SI 和  $62.8 \times 10^{-5}$ SI, 向下剧减,至网纹层低部降至最低值,只有  $22.5 \times 10^{-5}$ SI;  $H_2$ 第四纪红土也有相似的规律,其 50~80cm 和 80~100cm 两层磁化率值为  $72.3 \times 10^{-5}$ SI 和  $63.8 \times 10^{-5}$ SI, 向下减小,至网纹层底部只有  $12.9 \times 10^{-5}$ SI。 $H_1$ 黄棕色土磁化率值在剖面中的分布上下较均匀,只在斑纹层略偏小,各层磁化率值在  $34 \sim 40 \times 10^{-5}$ SI 之间; $H_2$ 上部黄棕色层磁化率值为  $59.2 \times 10^{-5}$ SI 和  $67.0 \times 10^{-5}$ SI, 高于  $H_1$ 各层,但仍低于红土表层的磁化率值。

表5 黄棕色土和第四纪红土剖面磁化率分布特征

Table 5 Characteristics of susceptibility in the soil profiles of yellow-brown earth and Quaternary red clay

$H_1$ 各层深度	磁化率	$H_2$ 各层深度	磁化率	$H_3$ 各层深度	磁化率
Depth(cm)	Susceptibility( $10^{-5}$ SI)	Depth(cm)	Susceptibility( $10^{-5}$ SI)	Depth(cm)	Susceptibility( $10^{-5}$ SI)
0~30	40.0	0~20	67.0	0~20	75.5
30~50	34.6	20~50	59.2	20~40	62.8
50~70	39.7	50~80	72.3	40~70	32.8
70~90	38.6	80~100	63.8	70~90	22.5
90~	34.0	100~130	33.3		
		130~160	25.7		
		160~200	15.8		
		200~260	12.9		

磁化率是对地质体磁性特征的描述。风化壳磁化率的大小首先与母岩本身的磁性强弱有关,其次与风化程度密切相关。红色风化壳发育过程中磁化率增大是生成磁赤铁矿的缘故,因为次生的各种铁锰钛矿物的磁化率都很低,唯有次生磁赤铁矿的磁化率特别大<sup>[7]</sup>。本研究中第四纪红土剖面上部的磁化率值大于黄棕色土,这显然是由于前者的富铁铝化程度大于后者的缘故。而红土剖面网纹层中磁化率值的减小则是由于网纹化过程中磁性载体铁锰氧化物的大量流失造成的。至于  $H_2$ 黄棕色土磁化率值大于  $H_1$ 各层,则是说明了还有更复杂的因素影响土壤磁化率的大小,对此将另文讨论。

## 参 考 文 献

- 张俊民, 过兴度, 顾也萍. 皖南宣城丘陵土壤的类型及其特性~兼论土壤的地带性. 土壤通报, 1984, 15(3): 97~101
- 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): 355~359
- 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
- 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1978
- 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪. 北京: 科学出版社, 1991. 124~128
- 杨 浩, 赵其国, 李小平, 夏应非. 安徽宣城风成沉积-红土系列剖面 ESR 年代学研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 293~299
- 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿等. 中国南方红色风化壳. 北京: 海洋出版社, 1996. 122~126

# COMPARATIVE STUDY OF YELLOW-BROWN EARTH AND QUATERNARY RED CLAY IN XUANZHOU, ANHUI PROVINCE AND ITS PALAEO-CLIMATE SIGNIFICANCE

Hu Xue-feng Gong Zi-tong

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Xia Ying-fei

(*Geography Department of Nanjing Normal University*)

Sui Yun-xia Du Jian-hua

(*Modern Analyses Centre of Nanjing University*)

## Summary

Quaternary red clay and yellow-brown earth coexist in Xuanzhou, Anhui Province. The former is mainly distributed on eroded hills and slopes; the latter mainly on plain, low hills, valleys and feet of hills. According to the investigations of topographical features and typical soil profiles in this region, it was found that the yellow-brown earth horizon was above the Quaternary red clay horizon. With ESR dating method, the yellow-brown earth was dated to 80 ka B.P., while the Quaternary red clay was 240 ka. B. P. Comparative study of basic physical and chemical properties and susceptibility of the two soil-forming parent materials showed that the Quaternary red clay suffered stronger weathering than the yellow-brown earth. It indicated a hot and humid climate in the middle Pleistocene, when the Quaternary red clay was formed, and then the climate turned cold in the late Pleistocene. This change resulted in the halt of red earth development and the formation of yellow-brown earth. The red weathering mantle exposed in this region was considered to be formed under the palaeo-climate in the middle Pleistocene; while the yellow-brown earth was mainly affected by the modern climate.

**Key words** ESR dating method, Palaeo-climate, Quaternary red clay, Yellow-brown earth