

文章编号: 1000-0550 (2005) 01-0130-08

洞庭盆地第四纪红土地层及古气候研究

来红州 莫多闻 李新坡

(北京大学环境学院 北京 100871)

摘要 洞庭盆地周缘广泛发育着第四纪红土地层,我们在野外对典型红土剖面进行了考察,并在岳阳市月山红土剖面进行了取样,在室内对土壤样品进行了磁化率、粘土矿物和粒度等实验分析,从而对洞庭盆地第四纪红土地层的剖面特征进行了研究,在此基础上,对洞庭盆地第四纪古气候变迁进行了探讨。月山红土剖面地层界限清晰,剖面特征明显,与中国南方其它的红土地层具有较好的地层对比性。月山红土剖面磁化率和粘土矿物分析表明:中更新世早期洞庭盆地气候干凉,中更新世晚期转为湿热;晚更新世早期气候仍保持湿热,晚更新世晚期则转为干凉;全新世以来洞庭盆地的气候再次转为湿热。粒度分析表明月山红土剖面第四纪沉积物的沉积环境为洪水盆地中的泛滥平原环境。

关键词 洞庭盆地 红土地层 古气候

第一作者简介 来红州 男 1975 年出生 博士研究生 地貌与第四纪地质学

中图分类号 P642.13 P59 **文献标识码** A

1 前言

中国南方广泛分布着第四纪红土地层,南方红土是特定气候条件下的产物,蕴含着丰富的古气候和环境演变信息,是全球变化研究理想的信息载体,已有许多学者对中国南方第四纪红土进行了较深入的探讨和研究^[1~15]。关于中国南方红土的形成时代和形成环境目前还存在较多争议,主要有以下几种观点:第四纪红色风化壳说^[2]、第四纪古风化壳说^[6]、风化壳持续发展说^[10]等等。中国南方第四纪红土的研究,对于全面认识我国第四纪气候变化和环境演变过程具有重要的意义。

长期以来,由于在红土测年上还缺乏有效的技术和手段,已有的红土地质年龄大多是在第四系地层对比基础上,结合相关的地质年龄推算出来的。近年来,随着热释光(TL)、光释光(OSL)和电子自旋共振(ESR)等测年方法在第四纪红土年代学研究中得到广泛运用,一些学者借助这些测年方法和手段对中国南方第四纪红土的形成时代进行了探讨,这些学者的研究成果表明:中国南方网纹红土主要形成于中更新世早期(0.73~0.4 Ma B. P.),其上部的均质红土形成于中更新世晚期(0.4~0.1 Ma B. P.)^[9,14,16,17],还有一些学者认为在更早的早更新世末期(1.23~0.

73 Ma B. P.)也有网纹红土形成^[17~19]。

洞庭盆地周缘广泛发育着第四纪红土地层,我们在野外对洞庭盆地周缘的岳阳、汨罗、沅江等地的红土剖面进行了考察,其中岳阳市月山红土剖面非常典型,地层界限清晰,网纹发育,底部还有大量铁锰结核,是在洞庭盆地进行古气候研究的理想信息载体,因此,我们在野外重点对月山红土剖面进行了考察和描述,并取得土壤样品,在实验室中进行了磁化率、粘土矿物和粒度分析等实验测试,在此基础上,对洞庭盆地的第四纪古气候变迁进行了探讨。

2 岳阳市月山红土剖面简介

月山红土剖面位于岳阳市党校东南方马路南侧,地理位置北纬 29°19.828',东经 113°04.417',剖面走向 265°,底部海拔高程为 54.9 m。剖面点离东洞庭湖东岸约 500 m,湖岸有第三系的红色砂质泥岩出露,形成陡峭的湖蚀崖。月山红土剖面位于湘江断裂东侧的上升盘,为地势起伏的丘陵地带,剖面高出东洞庭湖水面约 36 m,红土剖面下伏第三系红色砂质泥岩。月山红土剖面高 14 m,沉积物从上至下依次分为六层(图 1)。

目前,许多学者已对安徽宣城^[9]、安徽沿江地区^[18]、江西余江^[16]、江西九江^[17]、江西修水^[19]以及

江苏等地的网纹红土地层进行了大量研究,这些地区的红土地层均具有统一的地层发育模式,即剖面由下至上依次堆积着:砾石层、网纹红土层、均质红土层、黄土层,不同学者在这些地区也进行了大量的地层测年工作,所得红土地层年代也基本一致^[9,14,16,17]。月山红土剖面地层界限清晰,剖面特征明显,也遵循了上述地层发育模式,因此,它与上述地区的红土地层具有很好的地层对比性。基于以上地层对比分析,我们把月山红土剖面网纹红土层的形成时代确定为 0.73~0.4 Ma B. P.,即中更新世早期;均质红土层的形成时代为 0.4~0.1 Ma B. P.,即中更新世晚期;黄土层的形成时代为 0.1~0.01 Ma B. P.,即晚更新世。以下对月山红土剖面古气候参数的分析,均按照此地层年龄划分模式进行探讨。

月山红土地层剖面描述(由上至下):

棕黄色现代土壤层。松散多孔、植物根系发育。0.5 m

浅褐黄色粘土层。土层较疏松,未见网纹发育。1.5 m

浅棕红色均质红土层。土层被红色铁质胶膜胶结,较紧密,未见网纹发育。3.0 m

棕红色网纹红土层。该层颜色较第 3 层颜色深,土层被红色铁质胶膜胶结,也可见到少量黑色锰

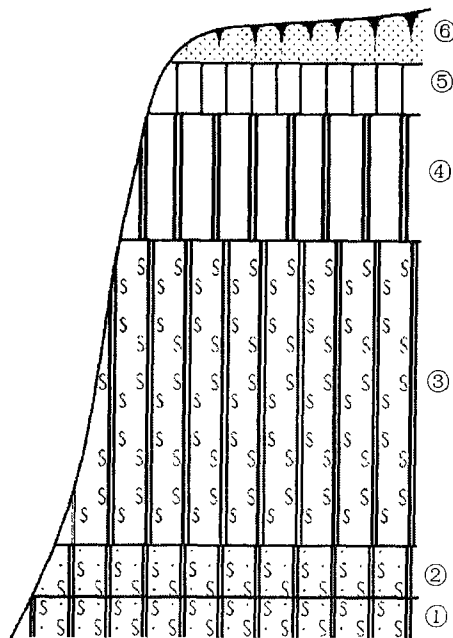


图 1 湖南岳阳市月山红土剖面

Fig 1 The Yueyang laterite profile in Yueyang City, Hunan Province

质胶膜,胶结较紧密,土层经敲击后成块状裂开,土块表面具油脂光泽。该层有大量蠕虫状白色网纹发育,网纹白斑近似长方形,长约 2~5 cm,宽 1~2 cm。6.0 m

棕红色网纹红土层(含铁锰结核)。土层被红色铁质胶膜胶结紧密,蠕虫状网纹大量发育,网纹白斑近似长方形,长约 2~6 cm,宽 1~3 cm;此外,该层还发育大量根状、柱状白色网纹,基本上为垂直排布,网纹直径约 2~4 cm,长约 10~30 cm。在红色土壤基质中,还镶嵌着一些灰黑色铁锰结核,结核直径约 0.5~1.2 cm,最大可达 1.5 cm。1.5 m

棕红色网纹红土层(含大量铁锰结核)。土层被红色铁质胶膜胶结紧密,蠕虫状和根状白色网纹大量发育,蠕虫状网纹白斑近似长方形,长约 2~8 cm,宽 1~3 cm;根状网纹垂直排布,直径约 2~4 cm,长约 10~30 cm。该层中的黑色结核物质较 3 层多,结核直径约 0.5~1.5 cm。1.5 m

3 月山红土剖面古气候参数分析

3.1 磁化率分析

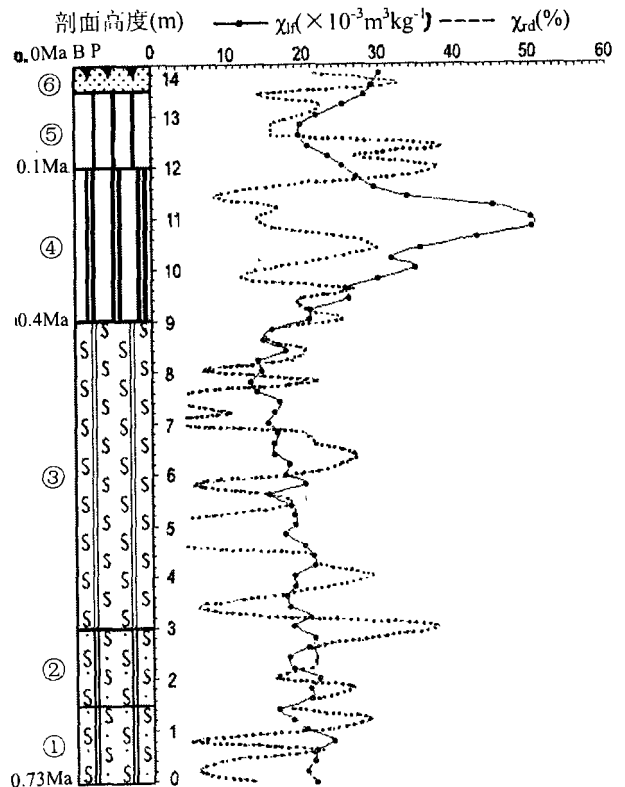


图 2 月山红土剖面磁化率曲线

Fig 2 The curve of magnetic susceptibilities of the Yueyang laterite profile, Yueyang City

表 1 月山红土剖面磁化率和粘土矿物含量变化表

Table 1 The changes of magnetic susceptibilities and clay mineral contents of the Yueshan laterite profile

气候参数 数值 地层	磁化率 $/(\times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1})$		伊利石 /%		高岭石 /%		绿泥石 /%	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
黄土层	19.55~30.20	24.38	59~76	71.0	9~17	12.8	10~12	10.6
均质红土层	20.85~50.25	33.11	62~76	69.0	14~24	18.9	10~14	12.1
网纹红土层	14.00~23.90	18.50	52~63	58.1	22~30	25.6	15~18	16.4

表 2 月山红土剖面均质红土层、网纹红土层土壤样品化学全量分析结果 (%)

Table 2 The results of chemical complete analysis of soil samples from the homogeneous laterite and the reticulate laterite in the Yueshan laterite profile (%)

样品类型	SO ₂	TO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
均质红土层	58.98	0.938	15.63	6.63	0.103	0.78	0.23	0.16	1.95	0.081	13.95	99.43
网纹红土层	64.19	1.073	16.21	8.17	0.062	0.61	0.24	0.10	1.73	0.073	7.25	99.73

注:均质红土层和网纹红土层各分析了 5 个样品,表中数据为平均值;网纹红土层为红土基质样品,不包含白色网纹。

我们对取自月山红土剖面的 70 个土壤样品进行了磁化率测试,测试仪器为 Bartington MS2 型双频磁化率仪,每个样品我们称取了 10 g,分别测定了样品的低频磁化率 (χ_{lf}) 和高频磁化率 (χ_{hf}),并计算了频率磁化率 (χ_{fd})。月山红土剖面土壤样品所测得的低频和高频磁化率值均较低,因此,频率磁化率的误差较大,本文在进行古气候分析时,所测得的频率磁化率只具有参考价值,下文论述中所指的磁化率均为质量磁化率。

月山红土剖面从底部到顶部,磁化率在网纹红土层、均质红土层和黄土层中的变化趋势非常显著(图 2,表 1)。在网纹红土层,从下向上,磁化率逐渐降低,波动不大,变化范围为 14.00~23.90,平均值 18.50。网纹红土层的时代为中更新世早期,较低的磁化率值表明中更新世早期洞庭盆地气候干凉。从网纹红土层过渡到均质红土层,磁化率急剧增大,在均质红土层中部达到最大值,而后逐渐下降,磁化率曲线在均质红土层形成一个很明显的波峰,变化范围为 20.85~50.25,平均值为 33.11。均质红土层的时代为中更新世晚期,较高的磁化率表明中更新世晚期洞庭盆地气候湿热。从均质红土层过渡到黄土层,磁化率急剧减小,并在黄土层中部达到最小值,而后逐渐上升,磁化率曲线在黄土层形成一个很明显的波谷,变化范围为 19.55~30.20,平均值为 24.38。黄土层的时代为晚更新世,磁化率在黄土层由高值逐渐下降到低值,表明洞庭盆地在晚更新世早期气候仍保持湿热,但到晚更新世晚期则气候转为干凉。磁化率在黄

土层的顶部保持逐渐上升趋势,表明全新世以来洞庭盆地的气候再次转为湿热。

以上通过磁化率对洞庭盆地第四纪古气候演变趋势的分析,与其它学者利用孢粉、沉积相等分析方法所得到的研究结论相一致^[20~22],表明磁化率不仅可以用来恢复中国北方的古气候,对于恢复和重建中国南方古气候,也是一种有效的研究手段。

由图 2 可知,月山红土剖面均质红土层的磁化率值远高于网纹红土层。黄成敏等对热带土壤发育过程中的土壤磁化率特征进行了研究,他们计算发现土壤样品的磁化率与全铁、游离铁、活化铁含量以及铁游离度、铁活化度等均无显著的相关性,说明了决定磁化率高低的是磁性矿物的数量,而不是铁氧化物的数量^[23]。月山红土剖面均质红土层的磁化率虽远高于网纹红土层,但均质红土层的全铁含量却低于网纹红土层(表 2),这也证实了月山红土剖面中磁化率的高低不是由铁氧化物的数量,而是由磁性矿物的数量决定的。尽管对土壤磁化率增强的机制还在进一步探索之中,目前,土壤磁化率增强的土壤成因模式,即成土成因的超顺磁强磁性颗粒——磁铁矿、磁赤铁矿导致土壤磁化率增强已被广泛接受^[24~27]。因此,我们认为:在中更新世晚期湿热气候条件下,月山红土剖面均质红土层中生成的超顺磁强磁性颗粒含量较高,故其磁化率远高于网纹红土层和黄土层。

3.2 粘土矿物分析

我们对月山红土剖面土壤样品中的粘土矿物进行了 X 射线衍射分析,试图揭示粘土矿物在地层纵

向序列中的变化规律,并据此讨论其环境意义。月山红土剖面中的第四纪沉积物来自洞庭盆地周缘的高地或“四水”中上游地区的风化层和土壤层,粘土矿物组合可反映出该流域内的古气候条件和风化条件。

在月山红土剖面从下至上,我们依据红土剖面的磁化率曲线变化规律,选取了 24 个土壤样品做 X 射线衍射分析。对每个样品分别加入适量 H_2O_2 和盐酸去有机质和钙质后,依据 Stokes 沉降原理提取小于 $2\mu m$ 的粘粒,分别制成定向片、乙二醇处理片、450 加热片进行 X 射线衍射分析。本文的 X 射线衍射实验是在北京大学化学学院 BD 80 型 XRD 衍射仪上进行,实验条件为:管压 30 kV,管流 30 mA,步宽 = 0.02° ,发散狭缝 1,防散射狭缝 2,用封闭式铜靶射线源,扫描速度为 $8^\circ/\text{分钟}$ 。对衍射曲线的特征峰强进行量算和计算,得出月山红土剖面粘土矿物含量表(表 1)。再以剖面高度为纵坐标,粘土矿物含量为横坐标,作出粘土矿物组合沿剖面的纵向变化曲线(图 3)。

月山红土剖面从底部到顶部,从网纹红土层、均质红土层到黄土层,伊利石含量总体的变化趋势是逐渐上升(图 3,表 1)。在网纹红土层,伊利石含量变化不大,大致为逐渐下降趋势,变化范围为 $52\% \sim 63\%$,平均值为 58.1% 。从网纹红土层过渡到均质红土层,伊利石含量急剧增大,在均质红土层中部存在一些波动,而后逐渐下降,伊利石含量变化曲线在均质红土层形成一个很明显的波峰,变化范围为 $62\% \sim 76\%$,平均值为 69.0% 。从均质红土层过渡到黄土层,伊利石含量急剧减小,并在黄土层中部达到最小值,而后逐渐上升,伊利石含量变化曲线在黄土层形成一个很明显的波谷,变化范围为 $59\% \sim 76\%$,平均值为 71.0% 。月山红土剖面从底部到顶部,从网纹红土层、均质红土层到黄土层,高岭石含量和绿泥石含量总体的变化趋势都是逐渐下降(图 3,表 1)。在网纹红土层,高岭石含量变化范围为 $22 \sim 30$,平均值为 25.6 ,绿泥石含量变化范围为 $15 \sim 18$,平均值为 16.4 ;在均质红土层,高岭石含量变化范围为 $14 \sim 24$,平均值为 18.9 ,绿泥石含量变化范围为 $9 \sim 17$,平均值为 12.1 ;在黄土层,高岭石含量变化范围为 $9 \sim 17$,平均值为 12.8 ,绿泥石含量变化范围为 $10 \sim 12$,平均值为 10.6 。

从月山红土剖面的粘土矿物含量变化曲线可知,高岭石含量与伊利石含量具有很强的负相关性,它们的含量曲线表现为左右对称关系(图 3)。绿泥石含

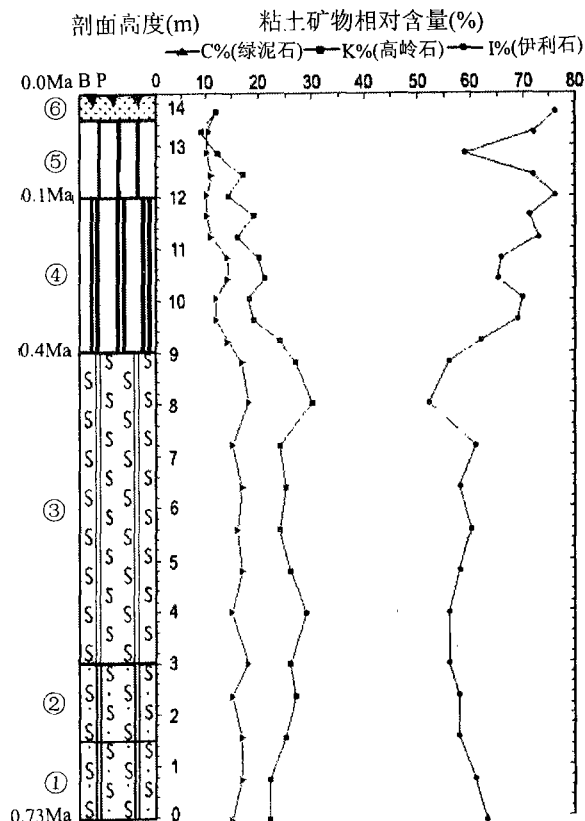


图 3 月山红土剖面粘土矿物含量曲线

Fig 3 The curves of content change of clay minerals of the Yue Shan laterite profile, Yueyang City

量波动范围很小,在红土剖面 5 m 以下,与高岭石含量是负相关关系;而在 5 m 以上,与高岭石含量是正相关关系。在取自月山红土剖面 X 射线衍射分析的 24 个土壤样品中,只有剖面顶部黄土层中的两个样品 YS - 065 和 YS - 067 中检测出伊蒙混层矿物的存在,其它样品中均无伊蒙混层矿物。YS - 065 中伊蒙混层矿物含量为 19% ,混层比为 50% ; YS - 067 中伊蒙混层矿物含量为 9% ,混层比为 45% 。

月山红土剖面的沉积物主要为冲积相成因,其中一部分粘土矿物也可能是风成的。月山红土剖面主要粘土矿物组分为伊利石、高岭石和绿泥石,与我国黄河、长江、珠江等河流沉积物的粘土矿物组合具有一定的相似性^[28]。月山红土剖面土壤样品中的粘土矿物种类及其相对含量,由物源组分和后生风化作用共同决定,其中后生的风化作用占主导地位。月山红土剖面中粘土矿物组分和含量在纵向上的变化,气候的冷暖波动并不能起到主导作用,而主要是由于红土剖面遭受风化和淋滤的时间长短不同造成的,从月山

红土剖面顶部到底部,风化和淋滤作用持续的时间更长,强度也更大。

月山红土剖面从顶部到底部,后期的风化作用和淋滤作用持续的时间更长,伊利石含量保持下降趋势,而高岭石含量则保持上升趋势。在大的趋势变化背景下,粘土矿物含量曲线也存在一些小的波动,这些波动则是保留了最初的粘土矿物的物源组分特征,而正是这些小的波动,才能真正反映出红土沉积时洞庭盆地的气候类型和条件。在网纹红土层,伊利石含量曲线存在一个波峰,与之对应高岭石曲线则存在一个波谷,这表明洞庭盆地在中更新世早期气候干冷。在均质红土层,伊利石含量曲线存在一个波谷,这个波谷与磁化率曲线的波峰正好对应,表明洞庭盆地在中更新世晚期气候湿热。在黄土层,伊利石含量曲线也存在一个波谷,这个波谷表明晚更新世早期,即末次间冰期洞庭盆地较为湿热的气候类型,而后,晚更新世晚期气候逐渐变为干凉。

3.3 粒度分析

在月山红土剖面由下至上,我们选取了 35 个土壤样品用于粒度分析。取 0.20 g 左右样品置于 500

ml 的烧杯中,加入 10% 的 H_2O_2 后搅拌,直到不再冒泡为止;加入 10% 的盐酸并搅拌,静置 12 小时后滤去清液,反复抽提上层清液直到 pH 值接近 7 为止;加入 10 ml 10% 的 $Na_2P_2O_6$,在电热板上加热至沸腾 5 分钟,静置 2 小时冷却后进行粒度测定。粒度分析实验是在北京大学环境学院进行的,测量仪器为英国产的 Malvern Masterizer2000 激光粒度仪,测量范围 0.02 ~ 2000 μm ,重复测量误差小于 1%,实验的统计与分析结果见表 3。

表 3 月山红土剖面黄土层、均质红土层、网纹红土层粒度参数平均值

Table 3 The average results of size analysis of soil samples from the loess, the homogeneous laterite and the reticulate laterite in the Yueshan laterite profile

月山剖面	中值粒径 (ϕ)	平均值 (M_z)	分选系数 (S_n)	标准差 (σ)	偏度 (SK_1)	峰态 (KG)
黄土层	6.605	6.691	1.997	1.406	0.104	0.928
均质红土层	6.572	6.669	2.044	1.446	0.114	0.921
网纹红土层	6.609	6.712	2.099	1.526	0.114	0.949

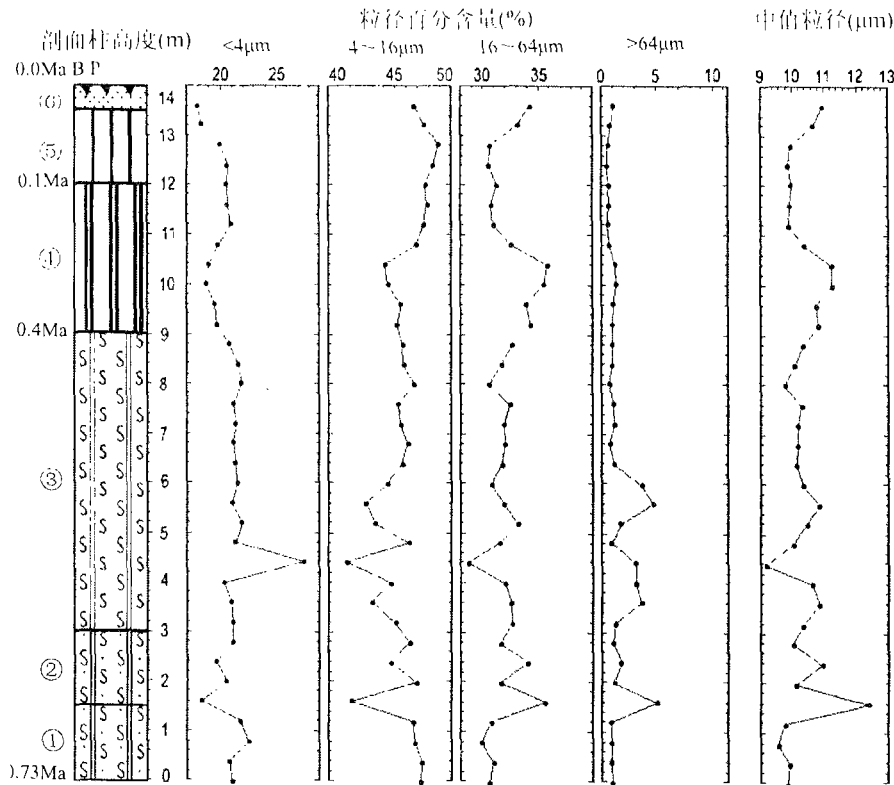


图 4 月山红土剖面粒度参数变化曲线

Fig 4 The change curves of size parameters of the Yueshan laterite profile, Yueyang City

月山红土剖面土壤样品的粒度平均值与中值粒径吻合得很好,且数值(ϕ)介于 6~7 之间,说明土壤样品以中—细粉砂为主;土壤样品的分选系数(S_0)均约等于 2,标准差(σ_1)介于 1.00~2.00,说明分选较差;土壤样品的 Folk & Ward 偏度 SK_1 均略大于 0.1,基本上为近对称到略正偏,即略偏细;土壤样品的 K_G 值均略大于 0.9,说明峰态中等。通过以上粒度参数分析,结合 F ü h t b a u e r & M ü l e r 对各种环境沉积物粒度参数的综合资料^[29],我们认为,月山红土剖面的第四纪沉积物的沉积环境为洪水盆地中的泛滥平原环境。

如图 4 所示,我们作出了月山红土剖面沉积物粒级 $< 4 \mu\text{m}$ 、 $4 \sim 16 \mu\text{m}$ 、 $16 \sim 64 \mu\text{m}$ 、 $> 64 \mu\text{m}$ 颗粒的百分含量以及中值粒径曲线,可以看出: $4 \mu\text{m}$ 以下的粘粒含量介于 18%~22%,表明粘粒含量较高。 $4 \sim 16 \mu\text{m}$ 的粘粒含量介于 40%~50%, $16 \sim 64 \mu\text{m}$ 的粘粒含量介于 28%~36%,这两个区间的粒度曲线基本保持左右对称,说明月山红土的粒级主要介于 $4 \sim 64 \mu\text{m}$,且在 $4 \sim 64 \mu\text{m}$ 这个区间内粒度的变化很小。粒级 $> 64 \mu\text{m}$ 的粘粒含量介于 0~5%,说明月山红土中的粗颗粒组分较少。在网纹红土层,粒级 $> 64 \mu\text{m}$ 的粒度曲线波动较大,说明在中更新世早期,气候干凉,洞庭盆地植被覆盖率较低,水土流失加剧,一些较粗的土壤颗粒被雨水冲刷到河流和湖泊中,并最终在洞庭盆地边缘地带堆积起来。从中更新世晚期开始,气候相对湿热,粗颗粒含量很少,曲线波动很小。

4 结论

(1) 岳阳市月山红土剖面,地层界限清晰,剖面特征明显,网纹发育,底部还有大量铁锰结核,与中国南方其它的红土地层具有较好的地层对比性,是在洞庭盆地进行古气候研究的理想信息载体。

(2) 月山红土剖面从底部到顶部,磁化率在网纹红土层、均质红土层和黄土层中的变化趋势非常显著,磁化率曲线在均质红土层形成一个很明显的波峰,月山红土剖面均质红土层的磁化率值远高于网纹红土层。

(3) 月山红土剖面从底部到顶部,从网纹红土层、均质红土层到黄土层,伊利石含量总体的变化趋势是逐渐上升,高岭石含量和绿泥石含量总体的变化趋势都是逐渐下降。月山红土剖面土壤样品中的粘土矿物种类及其相对含量,由物源组分和后生风化作

用共同决定,其中后生的风化作用占主导地位。

(4) 月山红土剖面磁化率和粘土矿物分析表明:中更新世早期洞庭盆地气候干凉,中更新世晚期转为湿热;晚更新世早期气候仍保持湿热,晚更新世晚期则转为干凉;全新世以来洞庭盆地的气候再次转为湿热。

(5) 粒度分析表明月山红土剖面第四纪沉积物的沉积环境为洪水盆地中的泛滥平原环境,月山红土剖面的粒度分布特征在一定程度上也体现出洞庭盆地第四纪以来的古气候变化趋势。

参考文献 (References)

- 1 朱景郊. 网纹红土的成因及其研究意义. 地理研究, 1988, 7(4): 12~20 [Zhu Jingjiao. Genesis and research significance of the plinthitic horizon. Geographical Research, 1988, 7(4): 12~20]
- 2 席承藩. 论华南红色风化壳. 第四纪研究, 1991, (1): 1~8 [Xi Chengfan. On the red weathering crusts of Southern China. Quaternary Sciences, 1991, (1): 1~8]
- 3 朱照宇, 郑洪汉, 张国梅, 等. 华南热带红土期及风化矿物初步研究. 第四纪研究, 1991, 1: 18~28 [Zhu Zhaoyu, Zheng Honghan, Zhang Guomei, et al. The developmental stages of red soils and their weathering minerals in the tropics of South China. Quaternary Sciences, 1991, 1: 18~28]
- 4 赵其国. 我国红壤现代成土过程和发育年龄的初步研究. 第四纪研究, 1992, 4: 341~351 [Zhao Qiguo. A study on recent pedogenic process and its developing age of red soils in China. Quaternary Sciences, 1992, 4: 341~351]
- 5 赵其国, 杨浩. 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步探讨. 第四纪研究, 1995, 2: 107~116 [Zhao Qiguo, Yang Hao. A preliminary study on red earth and changes of Quaternary environment in South China. Quaternary Sciences, 1995, 2: 107~116]
- 6 朱显谟. 中国南方的红土与红色风化壳. 第四纪研究, 1993, (1): 75~84 [Zhu Xianmo. Red clay and red residuum in South China. Quaternary Sciences, 1993, (1): 75~84]
- 7 杨怀仁, 徐馨, 杨达源. 长江中下游环境变迁与地生态系统. 南京: 河海出版社, 1995. 113~127 [Yang Huairan, Xu Xin, Yang Dayuan. The Environmental Evolution and Ecosystem in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River. Nanjing: Hohai Press, 1995. 113~127]
- 8 杨浩, 夏应菲, 赵其国, 等. 红土系列剖面的磁化率特征与古气候冷暖变换. 土壤学报, 1995, 32(增刊 2): 195~196 [Yang Hao, Zhao Qiguo, Li Xiaoping, et al. The characteristics of magnetic susceptibilities of red earth series profiles and the cold-warm change of paleoclimate. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(suppl 2): 195~196]
- 9 杨浩, 赵其国, 李小平, 等. 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): 293~300 [Yang Hao, Zhao Qiguo, Li Xiaoping, et al. ESR dating of eolian sediment and red earth series from Xuancheng profile in Anhui Province. Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 293~300]

- 10 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. 166 ~ 296 [Huang Zhengguo, Zhang Weiqiang, Chen Junhong, *et al*. The Red Weathering Crusts in South China. Beijing: Ocean Press, 1996. 166 ~ 296]
- 11 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿. 中国红土与自然地带变迁. 地理学报, 1999, 54(3): 203 ~ 211 [Huang Zhengguo, Zhang Weiqiang, Chen Junhong. The change of natural zones and the evolution of red earth in China. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(3): 203 ~ 211]
- 12 熊尚发, 刘东生, 丁仲礼. 南方红土的剖面风化特征. 山地学报, 2000, 18(1): 7 ~ 12 [Xiong Shangfa, Liu Tungsheng, Ding Zhongli. The weathering sequence of the red earth over Southern China. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(1): 7 ~ 12]
- 13 熊尚发, 丁仲礼, 刘东生. 南方红土网纹: 古森林植物根系的土壤学证据. 科学通报, 2000, 45(12): 1317 ~ 1321 [Xiong Shangfa, Ding Zhongli, Liu Tungsheng. Reticulate clay in the laterite of South China: The evidence of pedology of root of paleo-forest plant. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(12): 1317 ~ 1321]
- 14 隋淑珍, 姚小峰. 中国南方第四纪红土地层. 第四纪研究, 2000, 2: 182 ~ 185 [Sui Shuzhen, Yao Xiaofeng. Quaternary red earth stratigraphy in Southern China. *Quaternary Sciences*, 2000, 2: 182 ~ 185]
- 15 顾延生, 肖春娥, 章泽军, 等. 中国南方红土的研究进展. 华东师范大学学报(自然科学版), 2002, (1): 69 ~ 75 [Gu Yansheng, Xiao Chun'e, Zhang Zejun, *et al*. Research advance of red earth in South China. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2002, (1): 69 ~ 75]
- 16 夏应菲, 杨浩. 电子自旋共振 (ESR) 方法在第四纪红土年代学研究中的应用. 江苏地质, 1997, 21(4): 220 ~ 223 [Xia Yingfei, Yang Hao. Application of ESR dating in Quaternary red earth, South China. *Jiangsu Geology*, 1997, 21(4): 220 ~ 223]
- 17 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 九江地区网纹红土的时代. 地质力学学报, 1997, 3(4): 27 ~ 32 [Jiang Fuchu, Wu Xihao, Xiao Huaguo, *et al*. Age of the vermiculated red soil in Jiujiang area, Central China. *Journal of Geomechanics*, 1997, 3(4): 27 ~ 32]
- 18 于振江, 黄多成. 安徽省沿江地区网纹红土和下蜀土的形成环境及其年龄. 安徽地质, 1996, 6(3): 48 ~ 56 [Yu Zhengjiang, Huang Duocheng. Formation environment of net-veined laterite and Xiashu loess and their ages in the area along the Yangtze River, Anhui Province. *Geology of Anhui*, 1996, 6(3): 48 ~ 56]
- 19 李长安, 顾延生. 江西修水第四系网纹红土的地层学研究. 地层学杂志, 1997, 21(3): 226 ~ 232 [Li Changan, Gu Yansheng. Stratigraphic study on the vermicular red earth at Xiushui County, Jiangxi Province. *Journal of Stratigraphy*, 1997, 21(3): 226 ~ 232]
- 20 蔡述明, 官子和, 孔昭宸, 等. 从岩相特征和孢粉组合探讨洞庭盆地第四纪自然环境的变迁. 海洋与湖沼, 1984, 15(6): 527 ~ 539 [Cai Shuming, Guan Zhihe, Kong Zhaochen, *et al*. The discussion on the Quaternary environmental evolution of the Dongting Basin from the lithofacies characteristics and the spore-pollen combination. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1984, 15(6): 527 ~ 539]
- 21 杨达源, 韩辉友, 吴新哲. 气候变化对荆江变迁的影响. 见: 杨怀仁, 唐日长. 长江中游荆江变迁研究. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. 159 ~ 177 [Yang Dayuan, Han Huiyou, Wu Xinzhe. The influence of Climate Change on the Evolution of the Jingjiang River. Yang Huairan, Tang Richang. The study on the evolution of the Jingjiang River in the middle reaches of the Yangtze River. Beijing: Water Publishing House, 1999. 159 ~ 177]
- 22 张人权, 梁杏, 张国梁, 等. 洞庭湖区第四纪气候变化的初步探讨. 地质科技情报, 2001, 20(2): 1 ~ 5 [Zhang Renquan, Liang Xing, Zhang Guoliang, *et al*. A preliminary study of climatic change in Dongting Lake area in the Quaternary period. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 1 ~ 5]
- 23 黄成敏, 龚子同. 热带土壤发育过程中土壤磁化率特征研究. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(4): 63 ~ 68 [Huang Chengmin, Gong Zitong. Magnetic characteristics during process of tropical soil development. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(4): 63 ~ 68]
- 24 Zhou L P, Oldfield F, Wintle A G, *et al*. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess. *Nature*, 1990, 346: 737 ~ 739
- 25 杨小强, 李华梅. 泥河湾盆地沉积物粒度组分与磁化率变化相关性研究. 沉积学报, 2002, 20(4): 675 ~ 679 [Yang Xiaoqiang, Li Huamei. The correlation between the content of the different grain size and magnetic susceptibility in lacustrine sediments, Nihewan Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 675 ~ 679]
- 26 张建军, 杨达源, 陈曰友, 等. 长江中下游地区下蜀黄土磁化率曲线与环境变迁. 沉积学报, 2000, 18(1): 18 ~ 21 [Zhang Jianjun, Yang Dayuan, Chen Yueyou, *et al*. Study on the magnetic susceptibility of the Xiashu loess and the paleoenvironment changes in the middle and lower Changjiang River. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 18 ~ 21]
- 27 卢升高, 俞劲炎, 章明奎, 等. 长江中下游第四纪沉积物发育土壤磁性增强的环境磁学机制. 沉积学报, 2000, 18(3): 336 ~ 340 [Lu Shenggao, Yu Jinyan, Zhang Mingkui, *et al*. Environmental magnetism of magnetic enhancement for soils formed on Quaternary sediments in Yangtze River Valley. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 336 ~ 340]
- 28 蓝先洪. 粘土矿物作为古气候指标矿物的探讨. 地质科技情报, 1990, 9(4): 31 ~ 35 [Lan Xianhong. Clay minerals as an index of paleoclimate. *Geological Science and Technology Information*, 1990, 9(4): 31 ~ 35]
- 29 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 1978. 31 ~ 54 [North Shaanxi Team. The Size Analysis and Its Application of Sedimentary Rock. Beijing: Geological Publishing House, 1978. 31 ~ 54]

Research on the Quaternary Laterite and Paleoclimate in the Dongting Basin

LA I Hong-zhou MO Duo-wen LI Xin-po

(College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract There are many Quaternary laterites around the Dongting Basin. The survey on some typical laterite profiles on the field was carried, and sampling in the Yueshan laterite profile, Yueyang City. Some experiments on the soil samples, such as magnetic susceptibilities, clay minerals and size analyses had been done, and the characteristics of the Quaternary laterite profiles in the Dongting Basin were studied, then the Quaternary paleoclimate evolution in the Dongting Basin was discussed. The Yueshan laterite profile has the distinct stratigraphical facies and the evident profile characteristics, and it has a good stratigraphical correlation with other laterites in the South China. The analyses of magnetic susceptibilities and clay minerals of the Yueshan laterite profile indicate the rules of the Quaternary climate change in the Dongting Basin as follows: the climate of the Dongting Basin in the early stage of the Middle Pleistocene is dry and cold, and the climate of the Dongting Basin in the late stage of the Middle Pleistocene is humid and hot. The climate in the early stage of the late Pleistocene still keep humid and hot, but the climate begin to turn dry and cold in the late stage of the late Pleistocene. The climate of the Dongting Basin turn humid and hot in the Holocene once more. The size analysis indicates that the sedimentary environment of the Yueshan laterite is flood plain in the basin.

Key words Dongting Basin, laterite, paleoclimate