

洞庭湖周边地区第四纪红土粒度特征及环境意义

朱丽东,谷喜吉,叶 玮,李凤全,金莉丹,陈 渠,詹文娟,刘名瑜

(浙江师范大学地理过程实验室,浙江 金华 321004)

摘 要:第四纪风成红土广泛分布于中国南方,与北方的黄土同为反映第四纪古环境的重要载体。基于洞庭湖周边地区10处剖面122个红土样品的粒度分析,对该区红土沉积特征及其反映的环境意义进行探讨。结果显示:①样品均以粉砂(4~63 μm)为优势粒级,其次为粘粒(<4 μm),砂含量很少,并富集“风尘基本粒级”(10~50 μm),含量达33.23%~42.23%,粒度特征与典型的黄土、下蜀黄土、加积型红土样品相似,显著不同于湘潭洪冲积红土,也区别于本区砂岩风化壳红土,表明洞庭湖西、南、东缘丘陵岗地存在风成堆积成因的中亚热带风成加积型红土。②黄棕色土、网纹黄棕色土、均质红土、网纹红土等4类样品的粘粒含量由高到低的排序是网纹红土>均质红土>网纹黄棕色土>黄棕色土;粉砂含量由高到低的排序正好相反。结合粒度参数推测,黄棕色土发育时期,沉积作用增强,粒度变粗,分选性较好;网纹红土发育时期,沉积作用较弱,风化成壤作用强,细颗粒含量增多,分选性相对较差。这可能反映了洞庭湖地区中更新世至晚更新世冬季风加强,风化减弱的气候变化过程。③沿冬季风主导风向(偏北风),洞庭湖周边地区红土的 M_{ϕ} 、 Md 值(ϕ 值)自北向南增大(变细),风成组分(10~63 μm)百分含量随之减少,<2 μm 组分百分含量自北向南略有增加。这种趋势提供了组成该地区加积型红土的粉尘由偏北向南传输的风成证据和母质风化程度向南增强的环境信息。

关 键 词:第四纪红土;粒度特征;古环境;洞庭湖周边地区

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.01.002

中图分类号:P534.63

文献标识码:A

1 引言

中国南方第四纪红土有多种成因类型,大致归为两大类,即风化残积型和沉积型。残积型红土是指红色砂页岩、花岗岩、玄武岩、石灰岩等各类基岩经历湿热风化后残留在原地的红土,是中国南方红土区最常见的红土类型。沉积型红土根据沉积相的不同可分为洪积、冲积、坡积、泥流相、风成等类型,其中洪冲积、坡积和泥石流相红土通常认为是位于高处的古土壤或古风化壳,在重力、流水作用下堆积在坡麓、河谷或低平处,在湿热环境下风化而成,其物质组成混杂,具有次生性。近年来受到较多关注的风成红土,其质地均一,不含砾,无层理和流水作用痕迹,富含风尘粒级,这对理解风尘沉积在中国南方的分布及环境意义有重要价值(杨达源, 1991; 赵其国等, 1995; 胡雪峰等, 2004)。

例如皖南一带的第四纪红土,在粒度组成上与北方黄土呈较明显的延续关系(李徐生等, 1997);熊

尚发等(1999)沿东亚冬季风主要路径对比了浑善达克南端、北京附近、赣北九江的沙漠砂、黄土—古土壤和红土样品的粒度特征,发现三者具有沉积上的渐变过渡性,赣北红土为远源风成堆积,并进一步推断中国南方部分被流水改造的次生红土的母质也属风成成因;鄱阳湖周边风成红土物质组成中还有近源风成沙山<63 μm 组分的贡献(李佐卿, 2013)。浙北、浙中丘陵岗地和河流高阶地上的红土,在粒度组成、稀土丰度与配分模式、石英砂表面形态、矿物组成及Sr、Nd同位素示踪方面与北方风成沉积具风成相似性(杨立辉等, 2008; 叶玮等, 2008; 伊继雪等, 2009; 朱丽东, 2007; 朱丽东等, 2006, 2007),但风化程度自北而南体现纬度效应;成都平原堆积红土的粒度、石英颗粒表面形态以及稀土元素分布模式与甘孜地区典型风成黄土样品非常相似,系风成成因(乔彦松等, 2007);胡雪峰(Hu et al, 2010)则以28°N为界划分沉积型红土类型,以北多为风成特性红土,以南多为洪冲积红土。

收稿日期:2013-10;修订日期:2013-12。

基金项目:国家自然科学基金项目(41071002, 41371206)。

作者简介:朱丽东(1965-),女,浙江新昌人,教授,主要从事自然地理和环境变化研究,E-mail: zhulidong@zjnu.cn。

风成红土因沉积相对连续,具有边沉积边风化的加积性特征(朱丽东, 2007),是中国南方红土区开展第四纪环境记录研究的理想载体。目前湖南境内红土研究的成果相对较少,王春林早年(1986)讨论过网纹红土成因及其对新构造运动研究的意义;张建新等(2007)认为,湘、资、沅、澧流域红土的元素地球化学特征受区域气候环境、流域物源特征、红土化强度等因素影响;毛龙江等(2008)对比研究了环洞庭湖区两种红土类型的理化特征,但对周边地区红土成因及物源等问题的认识还不十分清晰。沉积物粒度对判别沉积环境及示踪古环境事件具有重要意义(乔晶等, 2012;王龙升等, 2012),本文基于洞庭湖周边 10 处地点红土样品的粒度特征,对该区域红土沉积特征及成因进行探讨,以期深化相关科学认识。

2 数据与方法

2.1 研究区及采样点

洞庭湖地区位于湖南省北部,属于亚热带季风气候,四季分明,光、热、水条件优越。年平均气温 16.4~17.0℃,年日照时数 1600~1800 h,年降水量

1100~1400 mm,年平均风速 2~3 m/s。洞庭湖盆地东、南、西三面分别为幕阜山、雪峰山和武陵山脉,从外围至湖盆中央由低山、丘陵、岗地、河网化冲积湖积平原等地貌类型构成,呈碟状向北开口的半封闭盆地。湖区第四系地层出露面积广,第四纪红土主要分布在盆地外围的丘陵岗地。

选取的 10 个剖面均为不含砾的红色或黄棕色土状沉积,位于洞庭湖周边的长沙、宁乡、益阳、常德、临澧、岳阳、汨罗、湘阴等地(图 1),分别是宁乡金洲大道(N-JZ)、黄泥铺(HNP)、益阳(YY)、沅江(YJ)、荷花(HH)、石板滩(SBT)、岳阳华容(Y-HR)、岳阳毛家村(Y-MJC)、岳阳新墙(Y-XQ)、岳汨公路(YMGL)剖面,10 处红土剖面的结构大体相似,下段发育网纹,形成网纹红土或网纹黄棕色土,层段内斑纹下粗大向上渐细小;剖面上段为不含网纹的均质红土或黄棕色土。为便于对比,还在长沙雷锋镇桥头(L-QT)和宁乡南冲塘(NCT)两处采集了风化壳红土样品;在湘潭湘江阶地上采集了洪冲积类型的红土样品。

2.2 粒度测试

10 个剖面的分层及性状见表 1,根据剖面结构与地层性状,利用等间距采样或分层采样的方法共

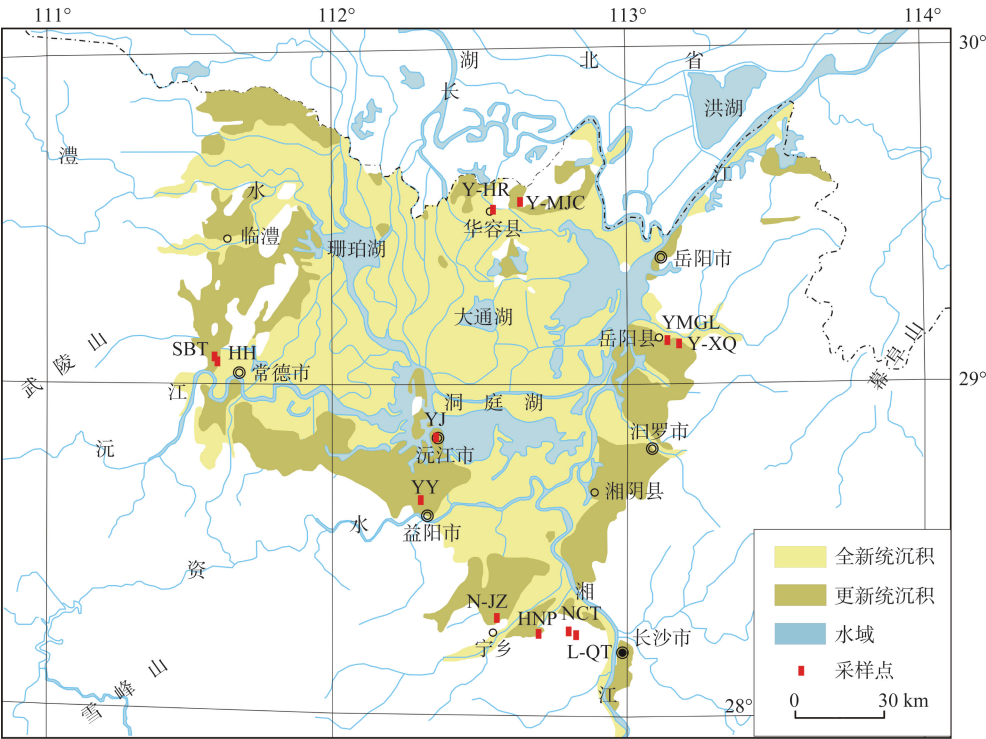


图 1 研究区及采样点分布

Fig.1 Study area and sampling locations of Quaternary red earth

表1 洞庭湖周边10个红土剖面地层结构及性状

Tab.1 Litho–stratigraphic features of 10 red earth sections around Dongting Lake

剖面	层(厚度/cm)	主要特征
宁乡黄泥铺	均质红土(0~160)	红棕色, 不含砾; 0~100 cm 疏松多根
HNP	网纹红土(160~250)	紧实, 网纹细密, 呈浅黄斑点状; 160~190 cm 间网纹弱; 190~250 cm 间网纹清晰
宁乡金洲大道 N-JZ	均质红土(0~250)	红棕色, 不含砾
	网纹红土(250~1005)	紧实, 250~300 cm 间弱网纹; 300~860 cm 间粗大斑点状网纹; 860~1005 cm 间网纹清晰且多竖条形
益阳连山坡	均质红土(0~150)	红棕色, 不含砾, 见植物根
YY	网纹红土(150~760)	紧实, 150~220 cm 间网纹弱, 220~370 cm 间网纹清晰, 细小斑点; 370~760 cm 网纹清晰, 粗大
岳阳华容	均质红土(0~60)	红棕色, 不含砾, 见植物根
Y-HR	网纹红土(60~700)	60~120 cm 黄红色, 含少量铁锰胶膜, 弱网纹; 120~300 cm 红棕或红褐, 含大量铁锰胶膜, 网纹呈灰黄斑点; 300~470 cm 红棕色, 嵌灰白色粗大斑纹, 不含砾; 470~510 cm 碎石条带, 棱或次棱; 510~700 cm 红棕网纹层, 含砾
岳阳毛家村	黄棕色土(0~50)	黄棕, 不含砾, 疏松多根
Y-MJC	网纹黄棕色土(50~160)	黄棕, 较紧实, 含少量铁锰胶膜, 不含砾, 弱网纹, 呈浅灰黄斑点状
	网纹红土(160~310)	红褐, 紧实, 含大量铁锰胶膜, 网纹清晰, 灰白蠕虫状
岳阳新墙	均质红土(0~20)	红棕, 不含砾, 疏松, 见植物根
Y-XQ	网纹红土(20~600)	20~210 cm, 网纹细密, 呈浅黄斑点; 210~600 cm 网纹粗大清晰, 呈灰白斑纹
岳汨公路	黄棕色土(0~80)	黄棕, 不含砾, 疏松多根系
YMGL	网纹红土(80~660)	80~300 cm, 红褐网纹层, 含大量铁锰胶膜, 网纹细密, 蠕虫状; 300~660 cm, 红棕网纹层, 网纹粗大清晰, 呈灰白管状, 其中 300~520 cm 段含少量铁锰胶膜, 520~660 cm 段不含铁锰胶膜
沅江	黄棕色土(0~160)	黄棕, 不含砾; 80~120 cm 处见 2~3 mm 铁锰结核
YJ	网纹黄棕色土(160~370)	160~210 cm 灰黄, 弱网纹; 210~280 cm 红棕, 含铁锰胶膜, 嵌细密浅黄色网纹; 280~370 cm 黄棕, 紧实, 含大量铁锰胶膜, 网纹灰黄色
	网纹红土(370~690)	370~510 cm 红褐网纹层, 含大量铁锰胶膜, 灰白粗大斑点状网纹; 510~570 cm 黄棕网纹层, 含铁锰胶膜, 斑纹浅灰黄; 570~690 cm 红褐网纹层, 紧实, 含铁锰胶膜, 网纹灰白粗大
常德荷花堰	黄棕色土(0~90)	0~20 cm 黄棕, 不含砾, 疏松多根; 20~90 cm 黄褐, 见铁锰胶膜
HH	网纹黄棕色土(90~240)	较紧实, 90~150 cm 黄棕, 含铁锰胶膜, 网纹呈浅灰黄斑点; 150~190 cm 灰黄色, 竖条形网纹; 190~240 cm 黄褐, 多铁锰胶膜, 夹灰白网纹斑条
常德石板滩	黄棕色土(0~40)	0~18 cm 黄棕, 不含砾, 疏松; 18~40 cm 黄褐色, 见微量铁锰胶膜, 疏松多根
SBT	网纹黄棕色土(40~160)	40~75 cm 黄棕, 弱网纹; 75~135 cm 红褐, 弱网纹; 135~160 cm 棕黄色, 弱网纹, 底部见铁锰结核淀积
	网纹红土(160~210)	紧实, 红棕, 网纹清晰, 呈浅黄或灰白斑点状, 底部含砾

采集红土分析样品 122 个。

取 0.5 g 风干样品放入烧杯, 加入 2:1 H₂O₂ 10 ml 浸泡 12 h, 去除样品中的有机质, 上电热板加热煮沸 20 min 分解多余 H₂O₂, 之后加 2:1 HCl 10 ml 去除无机碳酸盐, 待冷却后加满去离子水静置 24 h, 并抽去烧杯上部清液, 以 0.5 mol/L 的 (NaPO₃)₆ 溶液 10 ml 作分散剂, 并用超声波清洗器振荡 15 min 使样品有效分散, 最后上机测试。

所有样品的粒度测试均完成于浙江师范大学地理过程实验室。测试仪器为英国 Malvern 仪器公司生产的 Mastersizer2000 激光粒度仪, 测量量程 0.02~2000 μm, 重复测量误差 <2%。

3 结果与分析

3.1 粒度分布

图 2a、图 2b、图 2c、图 2d 分别为洞庭湖周边地区 10 个红土剖面中黄棕色土、网纹黄棕色土、均质红土、网纹红土 4 类典型样品的粒度分布频率曲线, 总体呈单峰正偏型, 且细粒端多拐点, 主要位于 8 ϕ(4 μm) 和 11 ϕ(1 μm) 处。组成上粉砂(4~63 μm) 为优势粒级, 平均含量介于 62.22%~72.17% 之间, 众数粒径位于 6~7 ϕ(8~15 μm), 粉砂粒级段内, 粗粉砂(10~63 μm) 含量(33.52%~44.09%) 明显高于细粉砂(4~10 μm) 含量(25.15%~29.18%), 同时富含“风

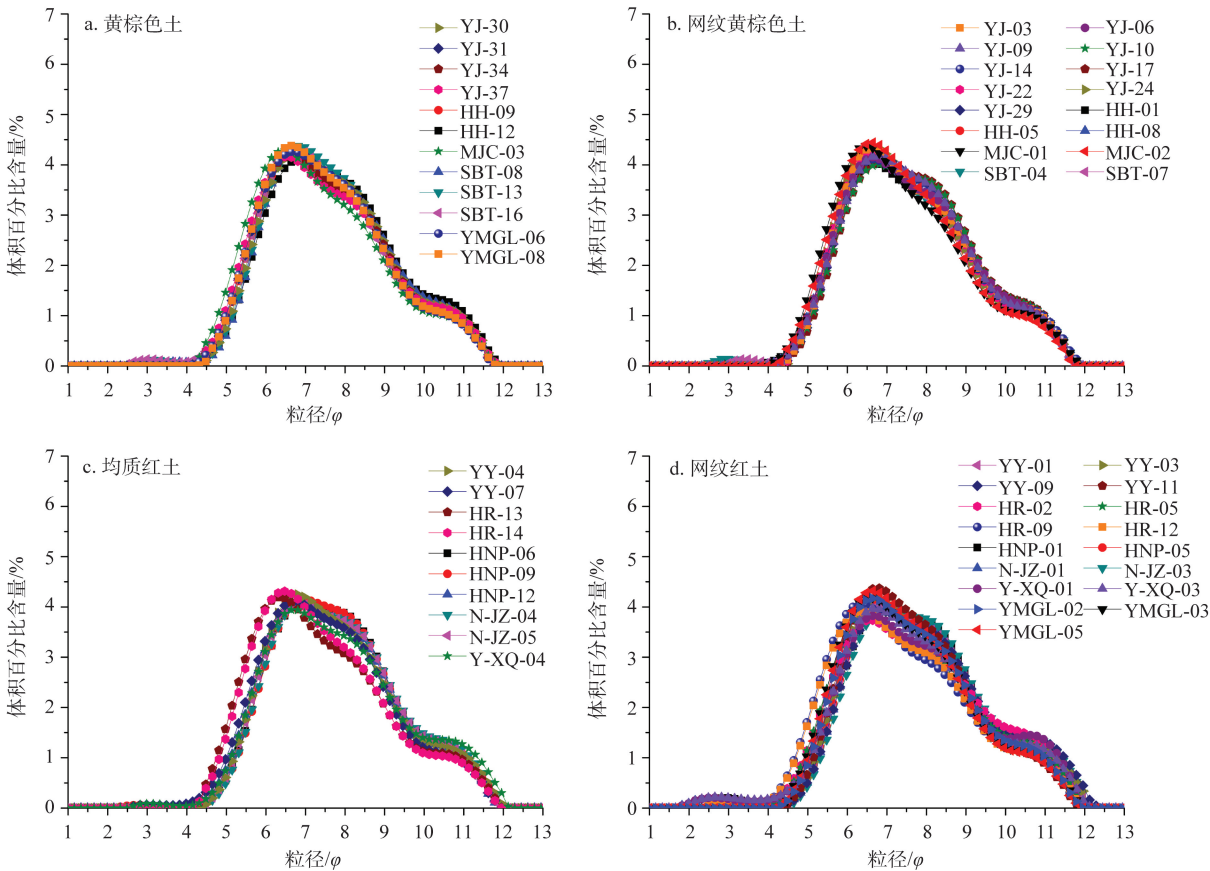


图2 洞庭湖周边第四纪红土粒度频率曲线

Fig.2 Grain-size distribution curves of Quaternary red earth around Dongting Lake

尘基本粒级”(10~50 μm), 均值可介于 33.23%~42.23%之间; 粘粒(<4 μm)含量仅次于粉砂, 均值变化于 27.52%~36.91%之间; 砂(>63 μm)含量很少, 平均含量仅 0.12%~2.11%。粒度三角图中, 样点(DTL)的投影区也与北方黄土(洛川 LC、塔尔坡 TEP)、下蜀黄土(南京新港 XG)以及风成加积型红土(宣城 XC、九江 JL、金华汤溪 TX)基本一致(朱丽东等, 2006; 朱丽东, 2007; 伊继雪等, 2009)(图3), 显示风成特性, 属中亚热带风成加积型红土。相比之下, 它们与湘潭湘江阶地上洪冲积相红土的多峰粒度曲线有较大差异(图4)。

黄棕色土、网纹黄棕色土、均质红土、网纹红土四类样品的粒度组成相比(表2), 网纹红土粘粒(<4μm)含量最高 30.78%~37.58%, 其次依次是均质红土 28.31%~35.91%, 网纹黄棕色土 27.54%~33.24%, 黄棕色土 27.48%~31.75%; 相反, 网纹红土粉砂(4-63 μm)含量最低 61.82%~68.87%, 黄棕色土粉砂含量最高 67.82%~72.15%; 平均粒径也以网纹红土

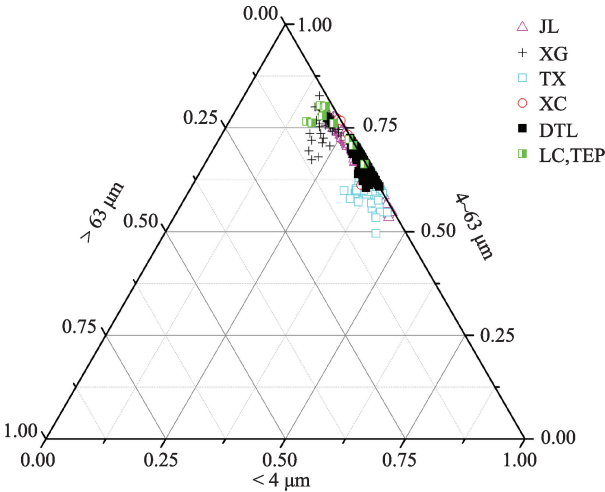


图3 洞庭湖周边红土与其他地区风成沉积物粒度三角图
Fig.3 Sand-silt-clay triangular plot of DTL red earth samples and other eolian deposit samples

更细。因此, 就同一剖面而言, 网纹红土较均质红土和黄棕色土偏细, 网纹黄棕色土较黄棕色土偏细。结合粒度参数推测, 黄棕色土发育时期, 沉积

作用增强,风化作用减弱,网纹化作用减弱或消失,沉积物颗粒变粗,分选性较好;而网纹红土发育时期,沉积作用较弱,母质风化成壤作用强烈并网纹化,从而细颗粒含量增多,沉积物混合度高,分选性

相对较差。按照网纹红土和黄棕色土的地层时代,前者属中更新世,后者属晚更新世(袁宝印等,2008),这种剖面上的变化记录了中更新世到晚更新世冬季风加强、风化减弱的气候变化过程。

3.2 粒度参数

表3是按矩值法求得的几类样品的粒度参数均值,从数值看,洞庭湖周边地区10个红土剖面的粒度参数与XC、JL、TX等加积型红土最接近,前者平均粒径(M_{ϕ})、分选系数(σ)、偏态(Sk_{ϕ})、峰态(Kg)均值分别介于7.35~7.80、1.54~1.78、0.15~0.51、2.49~2.84,后者则分别为7.05~7.50、1.66~1.80、0.3~0.54、2.5~2.71;同时与XG下蜀黄土及LC、TEP黄土也有较好的相似性,只是平均粒径(M_{ϕ})更细,峰态(Kg)略宽;与洪冲积红土相比,参数特征则有很大差异,分选程度明显高于湘潭洪冲积相红土,表明其搬运动力的相对稳定性。

另外,与长沙雷锋镇桥头(L-QT)和宁乡南冲塘(NCT)两地采集的砂岩风化壳样品相比,两者的偏度值属于不同级别,砂岩风化壳残积型红土样品的

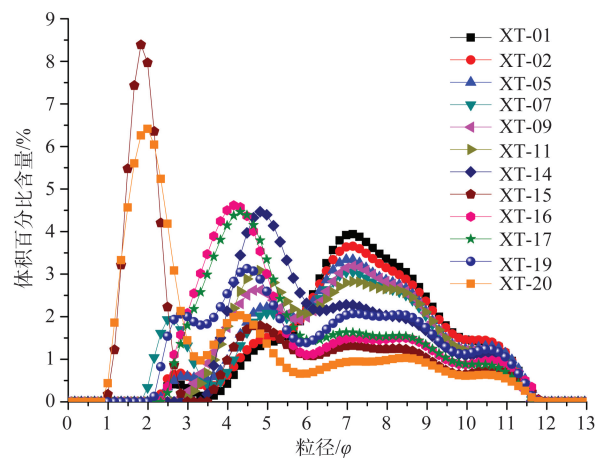


图4 湘潭湘江阶地洪冲积红土粒度频率曲线
Fig.4 Grain-size distribution curves of fluvial red earth samples from Xiangjiang terraces in Xiangtan

表2 洞庭湖周边地区红土粒度组成与粒度参数(均值)
Tab.2 Grain-size component and parameters of Quaternary red earth around Dongting Lake

剖面	土层	粒度组成 $\mu\text{m}/\%$						粒度参数			
		<4	4~10	10~50	10~63	4~63	>63	M_{ϕ}/ϕ	σ	Sk_{ϕ}	Kg
HNP	均质红土	34.61	29.49	34.41	34.88	64.37	1.01	7.67	1.60	0.19	2.87
	网纹红土	35.16	29.19	34.17	34.59	63.78	1.06	7.69	1.61	0.22	2.78
N-JZ	均质红土	35.91	29.31	34.38	34.72	64.03	0.06	7.75	1.56	0.39	2.47
	网纹红土	37.58	29.10	32.46	32.73	61.82	0.60	7.83	1.64	0.28	2.73
YY	均质红土	33.29	29.20	36.68	37.22	66.42	0.29	7.64	1.57	0.41	2.60
	网纹红土	36.31	28.33	35.01	35.32	63.65	0.04	7.79	1.62	0.45	2.48
Y-HR	均质红土	28.31	25.60	44.50	45.82	71.42	0.28	7.36	1.63	0.53	2.60
	网纹红土	31.46	25.28	41.43	42.66	67.94	0.60	7.48	1.67	0.42	2.47
Y-MJC	黄棕色土	27.48	26.23	44.59	45.92	72.15	0.38	7.33	1.59	0.51	2.62
	网纹黄棕色土	27.54	27.31	43.84	44.88	72.19	0.28	7.37	1.56	0.51	2.65
Y-XQ	均质红土	35.73	27.20	35.73	36.30	63.50	0.77	7.73	1.71	0.34	2.59
	网纹红土	34.17	26.21	35.98	36.84	63.05	2.78	7.58	1.82	0.06	2.97
YMGL	黄棕色土	29.83	28.79	40.64	41.28	70.07	0.10	7.49	1.52	0.46	2.60
	网纹红土	30.78	27.52	40.58	41.35	68.87	0.35	7.50	1.59	0.45	2.59
YJ	黄棕色土	30.75	28.03	40.35	41.07	69.10	0.15	7.51	1.55	0.44	2.54
	网纹黄棕色土	31.25	28.74	39.30	39.91	68.65	0.10	7.53	1.53	0.41	2.52
	网纹红土	32.04	28.28	38.96	39.57	67.85	0.11	7.57	1.55	0.42	2.51
HH	黄棕色土	31.75	28.22	38.93	39.59	67.82	0.43	7.55	1.57	0.38	2.59
	网纹黄棕色土	33.24	28.14	37.65	38.31	66.45	0.31	7.61	1.58	0.36	2.49
SBT	黄棕色土	31.56	29.68	37.78	38.27	67.94	0.50	7.57	1.54	0.37	2.69

峰态近于对称,另外众数粒径值也更偏细,大约对应于8.0~8.5 ϕ (2~4 μm)。

3.3 粒度指数特征

四分位值($Q1$, $Q3$ 和中位数 Md)是用来反映沉积物特征和沉积环境信息的重要指数,观察洞庭湖周边地区红土(DTL)与加积型红土(宣城XC、金华汤溪TX、九江JL)、下蜀黄土(南京新港XG)、黄土高原黄土(洛川LC、塔尔坡TEP)、湘潭洪冲积红土(XT)、砂岩风化壳红土(长沙雷锋镇桥头L-QT、宁乡南冲塘NCT)典型样品的粒度指数图(图5)可以发现:

与XC、TX、JL红土相比,DTL红土粒度的四分位值和四分位距最接近;与XG、LC、TEP风成黄土

相比,四分位距接近,四分位值略高,因为DTL红土粘粒含量更高(DTL红土<4 μm 组分27.52%-36.91%、XG、LC、TEP黄土该组分17.13%-19.76%);与XT红土相比,四分位值和四分位距差别最大,沉积环境明显不同;与L-QT、NCT红土相比, Md 值略小,四分位距略大。

3.4 粒度空间变化

鉴于洞庭湖地区属季风气候,具有向北开口的特殊马蹄状盆地地形,本文选取平均粒径(M_ϕ)、中值粒径(Md)、<2 $\mu\text{m}\%$ 、10-63 $\mu\text{m}\%$ 等指标,沿冬季风主导风向(偏北风)探讨其空间特征。

为了在同类型样品间进行比较,将洞庭湖周边10个红土剖面的样品分为黄棕色土、网纹黄棕色

表3 洞庭湖周边地区红土与其他样品粒度参数对比(均值)
Tab.3 Grain-size parameters of red earth around Dongting Lake and other deposit samples

剖面	粒度参数				剖面	粒度参数			
	M_ϕ/ϕ	σ	$Sk\phi$	Kg		M_ϕ/ϕ	σ	$Sk\phi$	Kg
洞庭湖周边地区红土					加积型红土				
N-JZ	7.80	1.60	0.32	2.63	XC	7.12	1.67	0.50	2.54
HNP	7.69	1.60	0.22	2.83	TX	7.50	1.80	0.30	2.71
YY	7.74	1.61	0.44	2.52	JL	7.05	1.79	0.50	2.50
Y-HR	7.46	1.67	0.44	2.49	下蜀黄土				
Y-XQ	7.63	1.78	0.15	2.84	XG	6.45	1.74	0.63	2.80
YMGL	7.50	1.56	0.45	2.59	北方黄土				
YJ	7.54	1.54	0.42	2.52	TEP	6.43	1.66	0.72	2.91
SBT	7.55	1.59	0.30	2.77	LC	6.34	1.70	0.73	2.92
HH	7.59	1.58	0.37	2.52	洪冲积红土				
Y-MJC	7.35	1.57	0.51	2.64	XT	6.65	2.18	0.19	2.28
					砂岩风化壳红土				
					L-QT	7.65	1.67	-0.02	3.03

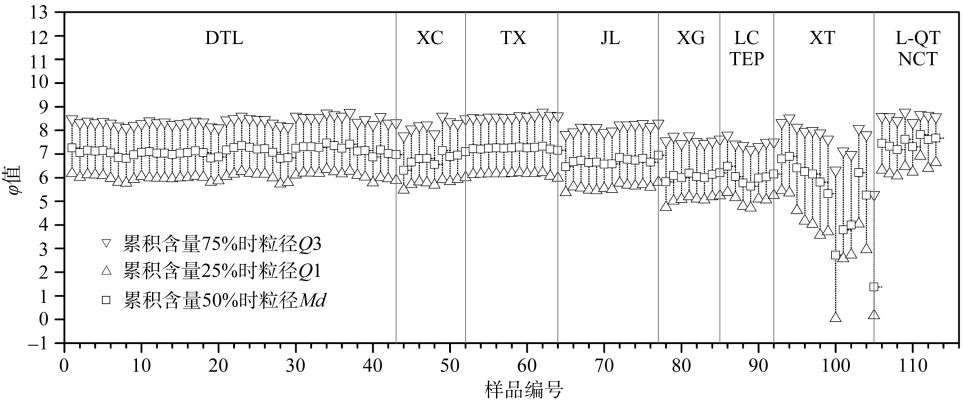


图5 洞庭湖周边红土、加积型红土、洪冲积红土、砂岩风化壳红土、黄土粒度指数图
Fig.5 $Q1$ - Md - $Q3$ plots of DTL red earth, aggraded & fluvial & residual red earth, and loess samples from different areas

土、均质红土、网纹红土4类,各剖面4类样品的 $M\phi$ 、 Md 、 $<2\text{ }\mu\text{m}\%$ 、 $10\sim63\text{ }\mu\text{m}\%$ 均值见表4,表4中剖面代号均按自北向南的顺序排列,结果表明, $M\phi$ 、 Md 值(ϕ 值)自北向南增大,即平均粒径和中值粒径沿冬季风主导风向变细,同时风成组分 $10\sim63\text{ }\mu\text{m}$ 百分含量也随之减少,符合冬季风下风方向风力搬运能力下降的规律。相反的是,对风化强度及夏季风变化有指示意义的 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 组分(鹿化煜等, 1997, 1998)百分含量呈自北向南略有增加趋势,但增加趋势不如 $10\sim63\text{ }\mu\text{m}$ 组分渐减趋势明显。

如果将北方黄土(LC,TEP)、南京新港下蜀黄土(XG)、九江红土(JL)和洞庭湖周边红土(DTL)之间作更大范围的比较,这种规律也是明显的(图6)。因此,洞庭湖周边地区10处红土剖面粒度组成与

江西、安徽、浙江一带的红土相似,显示风成特性,属中亚热带风成加积型红土。空间上,它们不仅在研究区范围内呈现红土粒度自北向南变细,风成粒组含量自北向南减少的规律,而且与北方黄土、下蜀黄土之间存在沉积上的渐变过渡性。

4 结论

(1) 洞庭湖周边地区10个剖面122个红土样品的粒度分析结果表明,粉砂($4\sim63\text{ }\mu\text{m}$)为其优势粒级,平均含量 $62.22\%\sim72.17\%$;其次为粘粒($<4\text{ }\mu\text{m}$),平均含量达 $27.52\%\sim36.91\%$;砂含量很少,平均含量仅 $0.12\%\sim2.11\%$ 。其中“风尘基本粒级”($10\sim50\text{ }\mu\text{m}$)较为富集,含量介于 $33.23\%\sim42.23\%$ 之间;众数

表4 洞庭湖周边地区红土粒度参数的空间变化
Tab.4 Spatial variations of grain-size parameters of red earth around Dongting Lake

	$M\phi/\phi$	Md/ϕ	$<2\text{ }\mu\text{m}\%$	$10\sim63\text{ }\mu\text{m}\%$		$M\phi/\phi$	Md/ϕ	$<2\text{ }\mu\text{m}\%$	$10\sim63\text{ }\mu\text{m}\%$
黄棕色土					网纹黄棕色土				
Y-MJC	7.33	6.81	13.86	45.92	Y-MJC	7.37	6.85	13.79	44.88
YMGL	7.49	7.01	14.60	41.28	YJ	7.53	7.08	15.33	39.91
SBT	7.57	7.11	15.73	38.27	SBT	7.46	6.95	15.55	41.97
HH	7.55	7.08	16.24	39.59	HH	7.61	7.15	17.23	38.31
YJ	7.51	7.03	15.36	41.07	网纹红土				
均质红土					Y-HR	7.48	8.01	17.11	42.66
Y-HR	7.36	6.82	14.84	45.82	YMGL	7.50	7.01	15.87	41.35
Y-XQ	7.73	7.25	20.17	36.30	Y-XQ	7.58	7.14	19.26	36.84
YY	7.64	7.18	17.09	37.22	SBT	7.60	7.20	18.79	36.09
N-JZ	7.75	7.31	18.72	34.72	YJ	7.57	7.10	16.23	39.57
HNP	7.67	7.26	17.60	34.88	YY	7.79	7.30	20.06	35.32
					N-JZ	7.83	7.39	20.44	32.73
					HNP	7.69	7.28	18.23	34.59

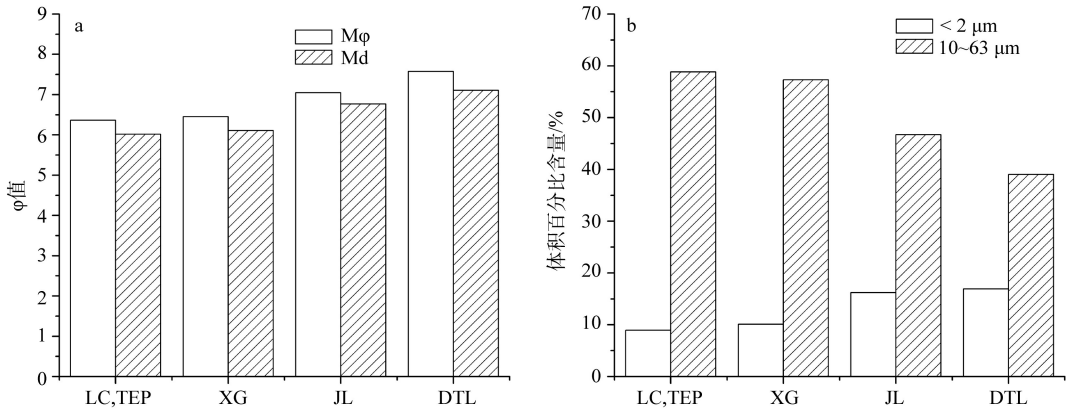


图6 黄土(洛川LC, 塔尔坡TEP)、下蜀黄土(新港XG)、九江红土(JL)、洞庭湖周边地区红土(DTL)粒度空间变化
Fig.6 Spatial variations of grain-size from loess, Xiashu loess, Jiujiang red earth and DTL red earth

粒径位于 $6\sim 7\phi(8\sim 15\mu\text{m})$ 。粒度组成和分布特征均与典型的黄土、下蜀黄土、风成红土样品相似,与研究区洪冲积红土则有很大差异,部分参数也区别于同地区砂岩风化壳红土。因此,洞庭湖周边地区存在风成加积型红土,碟状向北开口的半封闭盆地地形有利于粉尘自北而南输入,并在西、南、东缘丘陵岗地的向风一侧堆积。

(2) 比较黄棕色土、网纹黄棕色土、均质红土、网纹红土等4类样品的粒度组成,粘粒($<4\mu\text{m}$)含量由高到低的排序是网纹红土>均质红土>网纹黄棕色土>黄棕色土;粉砂含量由高到低的排序正好相反。结合剖面结构和其他粒度参数推测,黄棕色土发育时期,沉积作用增强,沉积物颗粒变粗,分选性较好;网纹红土发育时期,沉积作用较弱,风化成壤作用强,细颗粒含量增多,分选性相对较差。这一趋势记录了洞庭湖地区中更新世至晚更新世冬季风加强、风化减弱的气候变化过程。

(3) 沿冬季风主导风向(偏北风),洞庭湖周边地区红土的 M_{ϕ} 、 Md 值(ϕ 值)自北向南增大(变细),风成组分($10\sim 63\mu\text{m}$)百分含量随之减少;相反的是, $<2\mu\text{m}$ 组分百分含量自北向南略有增加。这种趋势提供了组成该地区加积型红土的粉尘由偏北向南传输的风成证据和母质风化程度向南增强的环境信息。更大范围上,黄土—下蜀黄土—九江红土—洞庭湖地区红土粒度空间变化趋势也与前人(朱丽东, 2007; 伊继雪等, 2009)研究结果较为一致。

参考文献(References)

胡雪峰, 沈铭能, 方圣琼. 2004. 皖南网纹红土的粒度分布特征及古环境意义. 第四纪研究, 24(3): 160-166. [Hu X F, Shen M N, Fang S Q. 2004. Grain-size distribution of the reticulate red clay in southern Anhui province and its paleo-environmental significance. Quaternary Sciences, 24(3): 160-166.]

李徐生, 杨达源, 鹿化煜. 1997. 皖南第四纪风尘堆积序列粒度特征及其意义. 海洋地质与第四纪地质, 17(4): 73-81. [Li X S, Yang D Y, Lu H Y, et al. 1997. The grain-size features of Quaternary aeolian-dust deposition sequence in south Anhui and their significance. Marine Geology & Quaternary Geology, 17(4): 73-81.]

李佐卿. 2013. 鄱阳湖周边地区第四纪风成沉积物粒度空间变化及环境意义[D]. 金华: 浙江师范大学. [Li Z Q. 2013. The grain size characteristics space change rule

and environmental significance of Aeolian deposits in Quaternary in the surrounding area of Poyang Lake[D]. Jinhua, China: Zhejiang Normal University.]

鹿化煜, 安芷生. 1997. 洛川黄土粒度组成的古气候意义. 科学通报, 42(1): 66-69. [Lu H Y, An Z S. 1997. Paleoclimatic significance of grain size composite of loess deposit in Luochun. Chinese Science Bulletin, 42(1): 66-69.]

鹿化煜, 安芷生. 1998. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义. 中国科学: D辑, 28(3): 278-283. [Lu H Y, An Z S. 1998. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau. Science in China: series D, 28(3): 278-283.]

毛龙江, 莫多闻, 杨兢红, 等. 2008. 环洞庭湖区两种典型红土理化特性比较研究. 土壤通报, 39(6): 1233-1236. [Mao L J, Mo D W, Yang J H, et al. 2008. A study on the Physi-Chemical characteristics of two typical Red Soils around Dongting Lake. Chinese Journal of Soil Science, 39(6): 1233-1236.]

乔晶, 庞奖励, 黄春长, 等. 2012. 汉江上游郧县段全新世古洪水滞流沉积物特征. 地理科学进展, 31(11): 1468-1474. [Qiao J, Pang J L, Huang C C, et al. 2012. Characteristics of palaeoflood slackwater deposits of Yunxian County in the upper reaches of the Hanjiang River. Progress in Geography, 31(11): 1468-1474.]

乔彦松, 赵志中, 李增悦, 等. 2007. 成都平原红土堆积的风成成因证据. 第四纪研究, 27(2): 296-294. [Qiao Y S, Zhao Z Z, Li Z Y, et al. 2007. Aeolian origin of the red earth formation in the Chengdu Plain. Quaternary Sciences, 27(2): 296-294.]

王春林. 1986. 湖南第四系蠕虫状网纹红土的成因及其对新构造运动研究的意义. 湖南师范大学自然科学学报, 9(1): 100-106. [Wang C L. 1986. On the origin of Quaternary worm-like net-veined red (laterite) soil in soil in Hunan Province and its significant in neotectonic studies. Natural Sciences Journal of Hunan Normal University, 9(1): 100-106.]

王龙升, 黄春长, 庞奖励, 等. 2012. 旬阳东段汉江全新世古洪水研究. 地理科学进展, 31(9): 1141-1148. [Wang L S, Huang C C, Pang J L, et al. 2012. Holocene palaeofloods recorded in the east Xunyang reach in the upper Hanjiang River. Progress in Geography, 31(9): 1141-1148.]

熊尚发, 丁仲礼, 刘东生. 1999. 赣北红土与北京邻区黄土及沙漠砂的粒度特征对比. 科学通报, 47(11): 1216-1219. [Xiong S F, Ding Z L, Liu D S. 1999. Comparisons of grain size characteristics of red earth from southern China with that of loess and dune sand from Beijing Region.

- Chinese Science Bulletin, 47(11): 1216-1219.]
- 杨达源. 1991. 中国东部的第四纪风成堆积与季风变迁. 第四纪研究, 11(4): 354-359. [Yang D Y. 1991. The Quaternary dust-fall accumulation and the monsoon variability in eastern China. Quaternary Sciences, 11(4): 354-359.]
- 杨立辉, 叶玮, 朱丽东, 等. 2008. 中亚热带网纹红土的稀土元素特征与成因分析. 地理科学, 28(1): 40-44. [Yang L H, Ye W, Zhu L D, et al. 2008. Characteristics and origin of rare earth elements of vermicular red earth in middle sub-tropic zone. Scientia Geographica Sinica, 28(1): 40-44.]
- 叶玮, 杨立辉, 朱丽东, 等. 2008. 第四纪加积型红土与黄土的风成相似性探讨. 干旱区地理, 31(3): 341-347. [Ye W, Yang L H, Zhu L D, et al. 2008. Aeolian-genesis comparability of aggraded red earth in South China with loess in North China. Arid Land Geography, 31(3): 341-347.]
- 伊继雪, 朱丽东, 姜永见, 等. 2009. 第四纪加积型红土与下蜀黄土理化特征比较. 海洋地质与第四纪地质, 29(2): 123-130. [Yi J X, Zhu L D, Jiang Y J, et al. 2009. Comparative study on Quaternary red earth and Xiashu Loess in physical and chemical characteristics. Marine Geology & Quaternary Geology, 29(2): 123-130.]
- 袁宝印, 夏正楷, 李保生, 等. 2008. 中国南方红土年代地层学与地层划分问题. 第四纪研究, 28(1): 1-13. [Yuan B Y, Xia Z K, Li B S, et al. 2008. Chronostratigraphy and Stratigraphic division of red soil in southern China. Quaternary Sciences, 28(1): 1-13.]
- 张建新, 鲁江, 邢旭东, 等. 2007. 湖南洞庭湖地区红土的元素地球化学特征及其指示意义. 地质通报, 26(11): 1435-1444. [Zhang J X, Lu J, Xing X D, et al. 2007. Element geochemistry of laterite in the Dongting lake area, Hunan, China and its indicative significance. Geological Bulletin of China, 26(11): 1435-1444.]
- 赵其国, 杨浩. 1995. 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究. 第四纪研究, 15(2): 107-116. [Zhao Q G, Yang H. 1995. A preliminary study on red earth and changes of Quaternary environment in South China. Quaternary Sciences, 15(2): 107-116.]
- 朱丽东. 2007. 中亚热带加积型红土及其所记录的第四纪环境变化探讨[D]. 兰州: 兰州大学. [Zhu L D. 2007. Aggradation red earth sediments in mid-subtropics of China and their recorded environmental changes during Quaternary[D]. Lanzhou, China: Lanzhou University.]
- 朱丽东, 叶玮, 周尚哲, 等. 2006. 中亚热带第四纪红粘土的粒度特征. 地理科学, 26(5): 586-591. [Zhu L D, Ye W, Zhou S Z, et al. 2006. Grain-size features of red earth in Mid-subtropics. Scientia Geographica Sinica, 26(5): 586-591.]
- 朱丽东, 周尚哲, 叶玮, 等. 2007. 网纹红土稀土元素地球化学特征的初步研究. 中国沙漠, 27(2): 194-200. [Zhu L D, Zhou S Z, Ye W, et al. 2007. Preliminary study on geochemical behavior of rare earth element of plinthitic red earth in south China. Journal of Desert Research, 27(2): 194-200.]
- Hu X F, Ji W, Yan D, et al. 2010. Regional distribution of the Quaternary Red Clay with aeolian dust characteristics in subtropical China and its paleoclimatic implications. Geoderma, 159: 317-334.
- Xiong S F, Sun D H, Ding Z L. 2002. Aeolian origin of the red earth in southeast China. Journal of Quaternary Science, 17(2): 181-191.

Grain-size features of Quaternary red earth in Dongting Lake Area and their paleoenvironmental significance

ZHU Lidong, GU Xiji, YE Wei, LI Fengquan, JIN Lidan, CHEN Qu, ZHAN Wenjuan, LIU Mingyu
(Geography Process Laboratory, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, Zhejiang, China)

Abstract: Dongting Lake Area is a semi-closed basin opening toward the north. In this area, alluvial and lacustrine sediments mainly developed in fluvial plain, low level terrace of the rivers and modern lakebed, and Quaternary red earth is widespread in low mountains, hills and hillock. Scholars paid very little attention to the red earth in this area over a long period of time in the past. In order to reveal the genesis of the Quaternary red earth in Dongting Lake Area and its preliminary climatic implications, we did a series of work. The detailed field investigation has shown that there are several types of Quaternary red earth in Dongting Lake Area, and the major type is the red earth with homogenous structure without gravel. The intact stratigraphic profile consists of the lower reticulate red earth layer or reticulate yellow brown earth layer and the upper homogeneous red earth layer or yellow brown earth layer. Ten profiles of this type of Quaternary red earth and 122 samples were collected, and their grain-size was tested by using laser particle size analyzer Malvern 2000, a product of Malvern of the UK. The results showed that: (1) Silt (4~63 μm) is the major type of particle in all samples; clay (<4 μm) is the second major type; sand accounts for the smallest portion. Aeolian particle (10~50 μm) is the dominant particle, and the mean content ranges from 33.23% to 42.23%. These features are similar to those of the loess, Xiashu loess and aeolian red earth, but quite different from fluvial red earth from Xiangjiang River terrace and the residual red earth formed with the rock weathering, indicating that aeolian red earth exists on the hilly land of the west, south and east sides of Dongting Lake Area and they all belong to aggradation red earth in Mid-subtropics. (2) All the samples can be separated into four categories: vermicular red earth, homogeneous red earth, reticulate yellow-brown earth and yellow-brown earth. In terms of grain size composition, their clay contents have a ranking order of vermicular red earth>homogeneous red earth>reticulate yellow-brown earth>yellow-brown earth, while their silt contents show an opposite ranking order. Combined with other information extracted from grain size parameters, we can speculate that sedimentation significantly strengthened during the period of yellow-brown earth, so the sediments become coarser and well sorted. However, in the period of vermicular red earth, sedimentation weakens and weathering strengthens, fine particle content increases, and the red earth are poorly sorted. This probably reflects the environmental change process in which winter monsoon strengthens and weathering weakens from the mid-Pleistocene to the late Pleistocene around Dongting Lake Area. (3) Along with the direction of the winter monsoon, the average particle size and median size (ϕ value) of the red earth become bigger (become smaller) southwards, but the percentages of aeolian component (10~63 μm) decrease while that of the <2 μm component increase slightly. These trend, therefore, provide aeolian evidence for the Quaternary aggradation red earth sediments and suggests that the intensity of weathering enhances southwards in the Dongting Lake Area.

Key words: Quaternary red earth; grain-size features; paleoenvironment; Dongting Lake Area