

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第5期

Vol.52 No.5



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

目 次

综述与评论

- 基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析 宋长青 谭文峰 (957)
土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应 吴绍华 虞燕娜 朱江等 (970)

研究论文

- 基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异 李玲 张少凯 吴克宁等 (979)
皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系 刘莉红 胡雪峰 叶玮等 (991)
青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 张玉柱 黄春长 庞奖励等 (1002)
基于成像光谱技术预测氮素在土壤剖面中的垂直分布 李硕 汪善勤 史舟 (1014)
基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测 王升 陈洪松 付智勇等 (1024)
淮河流域地表干湿变化的时空分布特征 曹永强 徐丹 曹阳 (1031)
神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测 郭明明 王文龙 李建明等 (1044)
砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究 赵丹 李毅 冯浩 (1058)
pH和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响 周鑫斌 于淑慧 谢德体 (1069)
土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性 李婷 王火焰 陈小琴等 (1078)
生物质灰对红壤酸度的改良效果 时仁勇 李九玉 徐仁扣等 (1088)
小麦秸秆生物炭对高氯代苯的吸附过程与机制研究 李洋 宋洋 王芳等 (1096)
不同温度玉米秸秆生物炭对萘的吸附动力学特征与机理 张默 贾明云 卞永荣等 (1106)
十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫毒性研究 王赢利 陈建松 阳宇翔等 (1116)
稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响 王慧 桂娟 刘满强等 (1124)
沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应 王诚楠 张伟东 王雪峰等 (1135)
土壤团聚体 N_2O 释放与反硝化微生物丰度和组成的关系 周汉昌 张文钊 刘毅等 (1144)
基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 王寅 冯国忠 张天山等 (1153)

问题讨论

- 中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题 易晨 马渝欣 杨金玲等 (1166)

研究简报

- 干旱与重吸水对人工藻结皮光合特性的影响 吴丽 杨红 兰书斌等 (1173)
咸水灌溉对沙漠防护林植物根系分布及风沙土演变的影响 李从娟 唐俊妍 高培等 (1180)
不同 $NaNO_3$ 浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素 张政勤 罗文贱 陈勇等 (1188)

封面图片: 不同浓度十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫的毒性 (由王赢利提供)

DOI: 10.11766/trxb201501190040

皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系*

刘莉红^{1, 2} 胡雪峰^{2†} 叶玮¹ 薛勇² 罗凡² 闫呈龙²

(1 浙江师范大学地理与环境科学学院, 浙江金华 321004)

(2 上海大学环境与化学工程学院, 上海 200444)

摘要 对安徽宣城市宣州和郎溪两地第四纪红土黏土矿物组合和伊利石结晶度进行研究, 探讨其对第四纪红土形成环境的指示意义。结果表明, 两地第四纪红土黏土矿物的组合基本相似: 剖面上部末次冰期下蜀黄土层(黄棕色土层)黏土矿物主要为伊利石、高岭石和2:1型的蛭石; 均质红土和网纹红土以伊利石和高岭石为主, 无蛭石; 网纹层下部出现伊利石-蒙脱石混层矿物。根据伊利石的X射线衍射(XRD)峰, 获得伊利石结晶度(Illite crystallinity, IC)值, 可以反映伊利石结晶程度。两地第四纪红土同类层次的IC值较接近。宣州和郎溪剖面黄棕色土的IC值平均为0.463, 均质红土为0.599, 网纹红土为0.726。全剖面样品IC值与风化强度指标呈显著负相关, 充分说明红土IC值可有效地反映红土的风化强度。第四纪红土剖面从黄棕色土→均质红土→网纹红土, IC值升高, 伊利石结晶变差, 反映了红土风化强度增加, 形成的气候环境更加湿热。

关键词 第四纪红土; 黏土矿物; 伊利石; IC值; 风化强度

中图分类号 S159 **文献标识码** A

黏土矿物是组成土壤的主要成分, 也普遍存在于各类沉积物中^[1]。黏土矿物是地表风化成土作用的产物, 记录了成土时期的气候环境信息^[2-4]。黏土矿物形成过程中受水介质pH、Eh和盐度等因素的影响。不同成土环境, 形成不同的黏土矿物组合^[1]。蛭石的存在是中等风化强度的一种标志, 主要分布在温带、亚热带排水良好的土壤中。风化作用不十分强烈的土壤中普遍含有蛭石或蛭石与云母或绿泥石形成的混层矿物。高岭石类矿物是热带和亚热带土壤的一种指示矿物, 形成于高温多雨、强烈风化的环境。伊利石主要形成于弱碱性和淋滤作用较弱的环境, 常在干旱、半干旱地区的土壤中含量较高^[5-7]。伊利石结晶度(Illite crystallinity, IC)值, 可反映伊利石在环境中的晶体完善程度。伊利石结晶好, 表示低温和干燥的环境; 反之, 表明受水解作用强, 温度高和降雨量大^[8]。中国北方黄土的IC值, 可以指示风化成土作用强度^[9-11]。黏土对环境的变化极为敏感。黏

土矿物的沉积分异、组合特征、矿物成分及其含量和矿物结晶度, 均从不同的角度记录了黏土矿物形成过程中各种环境因素的变化^[11-12]。这些对恢复古环境, 研究全球变化具有重要的指示意义, 无疑可以弥补传统研究方法在红土沉积物研究中难以发挥的作用。对中国南方第四纪红土的粒度、磁化率、元素地球化学特征等, 已有大量深入的研究^[13-17], 但对南方红土黏土矿物特征的研究相对较少。本文在采用X-射线衍射(XRD)法对皖南第四纪红土黏土矿物组合进行鉴定的基础上, 深入分析红土伊利石的结晶程度, 并研究IC值与红土风化强度的关系, 探讨红土IC值可能包含的古环境意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域

宣城市位于安徽省东南部, 属于亚热带湿润季风气候, 四季分明, 年平均温度为15.6℃, 年降

* 国家自然科学基金项目(41471174)资助

† 通讯作者, E-mail: xfhu@shu.edu.cn

作者简介: 刘莉红(1989—), 女, 山西运城人, 硕士研究生, 主要从事南方红土研究。E-mail: liulihong.1010@163.com

收稿日期: 2015-01-19; 收到修改稿日期: 2015-05-21

水量在1 200~1 500 mm之间。该区地处红黄土交接带,既有第四纪红土出露,又有下蜀黄土分布,是下蜀黄土分布的南界,红土发育的北缘。该地区黄棕色土—红土二元结构土壤剖面十分常见^[16-17],自上而下可区分出黄棕色土、均质红土和网纹红土。最新研究^[18]认为,黄棕色土与下蜀黄土同源,形成于气候相对干冷的末次冰期;均质红土形成于末次间冰期—末次冰期的转型期;网纹红土经历了湿热的末次间冰期气候。本文在宣城市宣州区和郎溪县各设置一个典型的第四纪红土剖面(图1)。

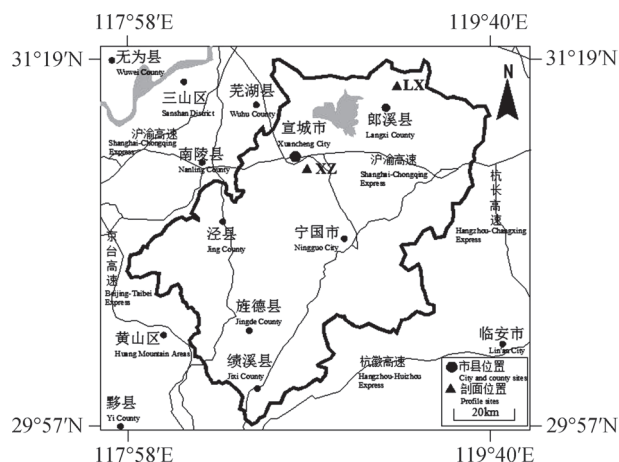


图1 安徽宣城市简图及研究剖面地理位置

Fig.1 Sketch map of Xuancheng City in southern Anhui Province, Southeast China and geophysical location of Profiles XZ and LX

1.2 研究剖面与样品采集

宣州第四纪红土剖面(XZ)位于宣城市宣州区向阳镇夏村砖瓦厂附近(30°52.408'N, 118°51.904'E),按典型层次,共采集样品11个。郎溪第四纪红土剖面(LX)位于宣城市郎溪县工业开发区郎溪宝通机械有限公司附近(31°12.228'N, 119°12.368'E),也按典型层次,共采样10个。XZ和LX是皖南第四纪红土研究的典型剖面,已有大量研究积累^[19-24];最近,又有典型层次的光释光(Optically Stimulated Luminescence, OSL)年代学研究^[18]。采集的土壤样品在室内自然风干,研磨待用。

1.3 样品分析

黏土矿物的XRD鉴定:取一定量的土壤样品,用H₂O₂水去除有机质,用Stokes沉降法提取黏粒。用柠檬酸钠—连二亚硫酸钠—碳酸氢钠(Citrate-bicarbonate-dithionite, CBD)浸提法,去除黏粒

组分中的游离铁,以排除氧化铁对XRD衍射谱线的干扰。残渣在低温下烘干(50℃左右),用玛瑙研钵将提取的黏粒研磨至200目,放入干燥器中密封保存以备^[25]。本文制作的XRD薄片分非定向粉晶片和定向片两类。定向片又区分为自然风干定向片和Mg甘油饱和定向片。

非定向粉晶片制作:将研磨过200目的已用CBD法去氧化铁的黏粒样或细土原样,置于载玻片的玻璃槽内,然后用玻璃片将土样压实、压平,直至玻璃槽内样品表面平滑,为常温非定向粉晶片。将研磨的粉末样放入马弗炉,550℃条件下灼烧2 h,然后放入干燥器中自然冷却,制成550℃高温处理非定向粉晶片。自然风干定向片:称取土样50 mg于离心管中,加1.5 ml蒸馏水,充分搅匀,用滴管吸取全部悬浮液,借助水张力均匀涂在水平载玻片上,制成定向薄膜,然后在空气中自然风干^[12, 26]。Mg甘油饱和定向片:称取土样50 mg于离心管中,用滴管加入几滴蒸馏水润湿土样,再加入1滴0.5 mol L⁻¹ HCl溶液酸化,用0.5 mol L⁻¹ MgCl₂溶液在离心管中交换三次,制成Mg饱和黏粒^[25]。将Mg饱和黏粒样用1:9甘油溶液离心洗两次,使甘油进入膨胀性矿物的层间,然后在室内自然风干。

XRD测试在上海大学分析测试中心完成。X衍射仪型号为日本18KW D/MAX2500V+/PC。X射线衍射仪的测试条件:Cu-K α 辐射,狭缝系统DS=SS=1°、RS=0.3 mm,步长0.02(2 θ),管压40 kV,管流200 mA,扫描速度2° min⁻¹(2 θ),扫描范围2°~30°(2 θ)。为了获得最佳图谱效果,在进行XRD衍射分析时,管流强度采用200 mA。

红土IC值测算:Kubler提出用伊利石d₀₀₁(1.0 nm)衍射峰半高宽来描述伊利石结晶度(Illite crystallinity, IC)^[27]。因此,伊利石1.0 nm半高宽当作IC值。IC值越大,伊利石结晶程度越低。本研究采用黏粒的自然风干定向片,获得XRD衍射图谱。利用Jade软件对XRD图谱进行平滑、扣除背景值等处理后^[28],测量伊利石1.0 nm的半高宽。图2中H表示伊利石1.0 nm衍射峰的峰高,W表示伊利石1.0 nm衍射峰的半高宽。

XRF红土元素全量分析:将土样烘干后,研磨至200目,称取2 g粉末样品,压成薄片,然后放入X-射线荧光光谱仪(日本岛津XRF-1800型)进行常量元素的分析测试。在测试过程中,用中国国家标准土壤样品GSS-3和GSS-6进行测试监控。各常

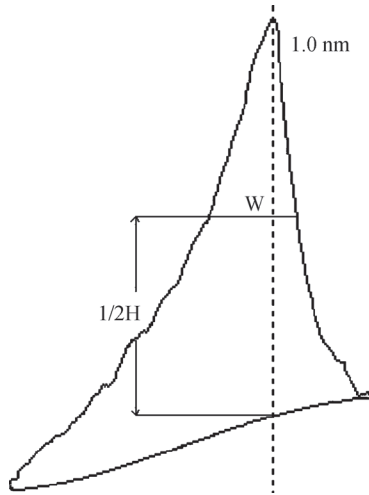


图2 伊利石 d_{001} (1.0 nm) 的半高宽

Fig.2 Full width at half maximum of d_{001} (1.0 nm) peak of illite

量元素的测试误差 $<5\%$ ；相对标准偏差 $<4.9\%$ 。

2 结果与讨论

2.1 黏土矿物组合特征

按形态特征，对XZ和LX剖面进行典型层次划分和描述（表1）。对研究剖面各层次黏土组分XRD衍射图谱进行判读。各土层黏粒自然风干片均出现 $d=1.0$ nm、 $d=0.334$ nm与 $d=0.5$ nm衍射峰（图3）。经过Mg饱和和甘油处理， $d=1.0$ nm衍射峰没有发生位移；经过 550°C 高温处理后， $d=1.0$ nm衍射峰没有消失（图4）。表明是伊利石衍射峰。 $d=0.334$ nm为石英最强反射峰，与伊利石峰重合。剖面各土层黏粒自然风干片还出现 $d=0.7$ nm、

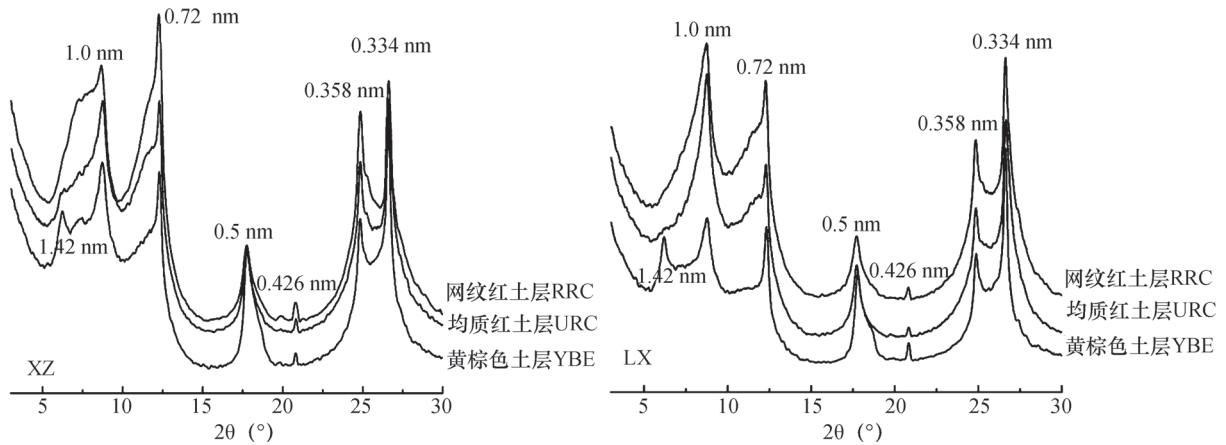


图3 第四纪红土研究剖面（XZ和LX）典型层次黏土组分XRD衍射图谱

Fig.3 XRD diagrams of clay fractions in typical layers of the Quaternary Red Clay Profiles XZ and LX

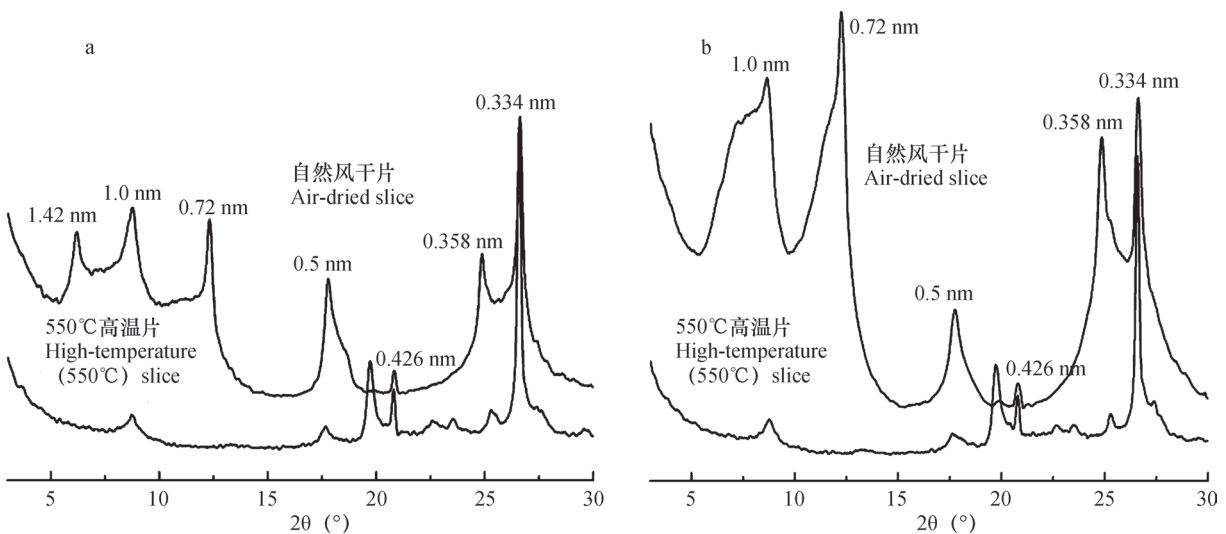


图4 第四纪红土研究剖面黄棕色土（a）和网纹红土（b）自然风干片和 550°C 高温片XRD图谱比较

Fig.4 Comparison between XRD diagrams of air-dried slices and high-temperature (550°C) slices of the Yellow-brown Earth (a), and of the Reticulate Red Clay (b)

表1 安徽宣城第四纪红土剖面基本性状

剖面代号 Profile codes	剖面地点 Profile sites	剖面层次 Profile layers	层次深度 Layer depth (cm)	样品代号 Sample codes	样品深度 Sample depth (cm)	形态特征描述 Morphological features
XZ	宣城市宣州区 Xuancheng District, Xuancheng City (30°52.408'N, 118°51.904'E)	黄棕色土层 (YBE)	0~20	XZ-1	8	黄棕色土, 结构疏松, 含有大量植物根须和空洞
		均质红土层 (URC)	20~170	XZ-2	56	均质红土, 紧实, 有少量孔隙和植物根须
				XZ-3	110	均质红土, 紧实, 有少量植物根须
				XZ-4	150	均质红土, 紧实, 夹杂有少量铁锰胶膜
		弱发育网纹层 (WRRRC)	170~320	XZ-5	230	细小网纹, 紧实, 有大量铁锰胶膜和少量土黄色条纹
				XZ-6	284	细小网纹, 夹杂大量土黄色条纹, 有铁锰胶膜
				XZ-7	320	细小网纹, 棱块状, 有土黄色条纹和铁锰胶膜
		网纹红土层 (RRC)	320~760	XZ-8	440	大量红白相间条纹, 夹杂有铁锰胶膜
				XZ-9	550	大量红白相间条纹, 白色条纹变宽
				XZ-10	690	大量红白相间条纹, 白色条纹增多, 呈树枝状分布
				XZ-11	760	大量红白相间条纹, 白色条纹粗大, 水平状分布
LX	宣城市郎溪县Langxi County, Xuancheng City (31°12.228'N, 119°12.368'E)	黄棕色土层 (YBE)	0~138	LX-1	12	黄棕色, 土质疏松, 有大量植物根须和空洞, 粒状结构
				LX-2	62	黄棕色, 紧实, 有少量植物根系和铁锰胶膜
				LX-3	100	黄红色过渡层, 紧实, 有铁锰胶膜
		均质红土层 (URC)	138~280	LX-4	158	均质红土, 紧实, 有大量铁锰胶膜
				LX-5	280	均质红土, 棱块状结构, 铁锰胶膜减少
		弱发育网纹层 (WRRRC)	280~510	LX-6	370	网纹细小, 夹杂土黄色条纹和铁锰胶膜
				LX-7	510	网纹细小, 夹杂土黄色条纹和铁锰胶膜
		网纹红土层 (RRC)	510~760	LX-8	620	大量红白相间网纹, 夹杂有少量铁锰胶膜
				LX-9	700	大量红白相间网纹, 紧实、坚硬
				LX-10	760	大量红白相间网纹, 白色条纹粗大

注: YBE表示黄棕色土层, URC表示均质红土层, WRRRC表示弱发育网纹层, RRC表示网纹红土层 Notes: YBE is an abbreviation of Yellow-brown Earth; URC, Uniform Red Clay; WRRRC, Weakly-developed Reticulate Red Clay; RRC, Reticulate Red Clay

$d=0.358$ nm衍射峰, 不受Mg饱和和甘油处理影响; 经过高温 550°C 处理后, 衍射峰消失(图4)。判别为高岭石。XZ和LX剖面黄棕色土层的自然风干片还出现 $d=1.42$ nm衍射峰, Mg饱和和甘油处理后收缩至 $d=1.4$ nm; 经过 550°C 高温处理, $d=1.42$ nm衍射峰消失(图4)。表明是蛭石^[25]。蛭石仅出现在剖面黄棕色土层中, 均质红土层中逐渐消退, 至网纹红土层未出现。

XZ剖面网纹层XRD图谱出现宽缓峰, 大概位于 $d=1.0$ nm~ 1.4 nm之间; 经过高温 550°C 处理后, $d=1.0$ nm衍射峰依然存在, 但衍射峰宽缓部分消失(图4)。表明除了伊利石, 还有混层黏土矿物存在。黏土矿物之间是可以相互转换的。伊利石在干冷气候环境条件下易于保存, 但在湿热气候条件下, 晶格中 K^+ 不断淋失, 可向蒙脱石演化, 形成过渡性矿物, 进一步分解形成高岭石^[12, 29]。XZ剖面网纹层下部的宽缓峰, 可能为伊利石-蒙脱石混层矿物, 前人^[12]也有类似报道。

总之, 两研究剖面各层主要黏土矿物为伊利石、高岭石。剖面上部黄棕色土层含有蛭石, 但至均质红土层迅速消失; 网纹红土下部, 伊利石峰变宽缓, 表明出现伊利石蚀变形成的混层矿物。

2.2 伊利石结晶度(IC)值

矿物结晶度是矿物晶体内部结构有序程度的反映。伊利石是一种类似云母的单斜晶系含水层状结构的黏土矿物, 二八面体体型结构, 又称水云母。其结晶度可反映其在地表和近地表环境中所遭受风化作用的强弱程度^[30]。伊利石结晶度常用其第一级底面反射峰即 d_{001} 衍射峰(1.0 nm)的形状来测定。若该衍射峰狭窄而对称, 则伊利石的结晶程度较高; 反之衍射峰宽阔而不对称, 则其结晶程度就较低。1960年Weaver首次提出了描述伊利石结晶度的Weaver指数, 其值为伊利石 1.0 nm衍射峰在 1.0 nm处的强度与 1.05 nm处的强度比值。Weaver指数随结晶度的增高而增大, 指数越大结晶度越好^[30-32]。1964年Kubler提出用伊利石 1.0 nm衍射峰半高宽描述伊利石结晶度的Kubler指数。指数越大, 衍射峰越宽, 结晶度越差^[27]。目前Kubler指数已被广泛采用。中国黄土研究者提出用伊利石 1.0 nm衍射峰的高宽指数(HW指数)来表征它的结晶度, 并利用它作为研究古环境变化的有效指标, HW值越大结晶度越高, 反之越低^[11]。随着风化和成土作用的增强, 伊利石发生蚀变, 结

晶度变差。北方黄土中HW值一般大于25, 而古土壤中HW值偏低, 大多小于20, 表明了干燥寒冷气候伊利石结晶度高, 温暖湿润气候伊利石结晶度差^[11]。

本研究伊利石结晶度采用Kubler指数, 即用伊利石 1.0 nm衍射峰的半高宽作为伊利石结晶度(IC)值。IC值随伊利石结晶程度的增大而减小。根据Diekmann等^[33]的分类: IC值 <0.4 , 表示伊利石结晶程度非常高; $0.4 < \text{IC值} < 0.6$, 表示结晶程度高; $0.6 < \text{IC值} < 0.8$ 表示结晶程度中等; IC值 >0.8 , 表示结晶程度差。

XZ和LX剖面自上而下, 伊利石 d_{001} 衍射峰(1.0 nm)逐渐变得宽阔而不对称, 尤其至剖面下部网纹层, 衍射峰最宽缓。两剖面IC值在 $0.4 \sim 0.7$ 之间, 表明伊利石结晶程度处于高与中等之间。各层IC值存在显著差异: XZ剖面黄棕色土层平均为 0.482 ($n=1$); 均质红土层IC平均值为 0.578 ($n=3$); 网纹红土层IC平均值为 0.735 ($n=7$)。LX剖面黄棕色土层IC值平均为 0.454 ($n=3$); 均质红土层IC平均值为 0.628 ($n=2$); 网纹红土层IC平均值为 0.717 ($n=5$)。表明XZ和LX剖面自上而下IC值逐渐增大。黄土高原洛川黄土—古土壤剖面IC值变化在 $0.24 \sim 0.35$ 之间^[34]。黄土高原黄土IC值大多在 $0.3 \sim 0.4$ 之间, 结晶程度属非常高; 古土壤IC值大多在 $0.35 \sim 0.5$ 之间, 结晶程度属高与非常高之间^[10]。黄土高原第三纪红土的IC值在 $0.4 \sim 0.5$ 之间, 结晶程度属高^[10]。本研究第四纪红土IC值显著高于黄土高原黄土、古土壤和第三纪红土, 表明南方红土风化强, 伊利石结晶程度低。

2.3 利用IC值估算红土风化强度, 推演古气候演变

土壤黏土矿物的类型和组合可以反映古气候环境。黄土高原黄土的黏土矿物中, 伊利石含量最多, 其次是绿泥石、蛭石、高岭石及一些混层矿物^[10-11]。而XZ和LX剖面未出现绿泥石, 主要黏土矿物是伊利石、高岭石。北方黄土的黏土矿物组合反映了干旱、低温和风化作用较弱的成土环境^[10-11, 29]; 而南方第四纪红土的黏土矿物组合, 反映了湿热的古气候环境。研究剖面蛭石仅出现在上部的黄棕色土层中, 均质红土层和网纹红土层中均未见, 反映长江流域第四纪晚期古气候环境的演变。

XZ和LX剖面从黄棕色土→均质红土→网纹红土, IC值逐渐升高, 伊利石结晶程度降低(图5和图6)。土壤矿物常随成土年龄的增加而老化, 结

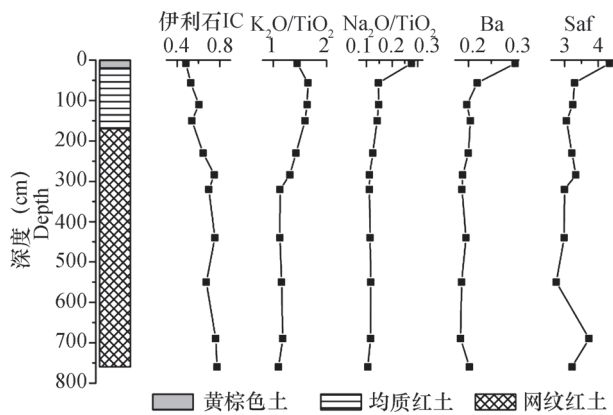
晶程度增加, 但研究剖面伊利石呈相反趋势。显然, 影响研究剖面IC值变化的主因, 并非成土时间, 而与红土风化强度变化有关。尤其网纹层下部IC值较大, 伊利石结晶差, 可能由于网纹红土的风化强度, 还可能与网纹化作用地下水的剧烈活动有关。对XZ和LX剖面各层常量元素含量进行分析(表2), 计算反映红土风化强度的指标: 硅铝率(Sa)、硅铁铝率(Saf)、风化淋溶系数(Ba)等。南方红土风化强烈, K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等盐基离子大量流失; SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 成为

红土组成的主要元素。红土中含量最高的元素是 SiO_2 , XZ剖面平均为 692.9 mg g^{-1} , 变化范围在 $669.7 \sim 723.0 \text{ mg g}^{-1}$ 之间; LX剖面平均值为 731.4 mg g^{-1} , 变化范围在 $699.4 \sim 837.1 \text{ mg g}^{-1}$ 之间。其次是 Al_2O_3 , XZ剖面平均值为 143.4 mg g^{-1} , 变化范围在 $117.6 \sim 160.5 \text{ mg g}^{-1}$ 之间; LX剖面平均值为 153.1 mg g^{-1} , 变化范围在 $98.3 \sim 172.2 \text{ mg g}^{-1}$ 之间。再次是 Fe_2O_3 , XZ剖面平均值为 58.5 mg g^{-1} , 变化范围在 $46.3 \sim 68.6 \text{ mg g}^{-1}$ 之间; LX剖面平均值为 64.5 mg g^{-1} , 变化范围在 $74.2 \sim 35.6 \text{ mg g}^{-1}$ 之间。

表2 安徽宣城第四纪红土剖面XZ和LX常量元素含量

Table 2 Contents of macro-elements in the Quaternary Red Clay Profiles XZ and LX, in Xuancheng City, Anhui Province, Southeast China

样品 Samples	深度 Depth (cm)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	(mg g ⁻¹)				
					CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2
XZ-1	8	714.0	117.6	46.3	1.1	2.9	15.4	5.5	10.6
XZ-2	56	669.7	160.5	58.3	0.8	1.6	18.1	6.0	11.0
XZ-3	110	675.8	150.1	57.1	0.7	1.6	17.9	5.8	10.9
XZ-4	150	675.7	148.7	58.8	0.8	1.5	17.3	6.1	10.9
XZ-5	230	704.2	139.6	58.9	1.0	1.4	16.2	5.4	11.4
XZ-6	284	686.0	143.3	60.4	1.4	1.3	14.7	5.5	11.2
XZ-7	320	723.0	133.1	54.1	1.5	1.3	13.1	4.8	11.6
XZ-8	440	691.3	144.9	60.3	2.4	1.3	13.1	5.3	11.6
XZ-9	550	675.5	149.9	64.8	2.6	1.3	13.3	5.4	11.5
XZ-10	690	712.0	143.3	56.1	2.0	1.4	13.9	4.8	11.8
XZ-11	760	694.3	146.4	68.6	1.8	1.2	12.6	4.8	11.4
LX-1	12	837.1	98.3	35.6	2.5	5.4	26.2	7.9	10.6
LX-2	62	726.6	149.8	55.1	4.7	4.8	26.6	18.7	11.3
LX-3	100	738.6	143.5	52.7	4.5	3.8	25.9	17.8	10.9
LX-4	158	699.4	172.2	74.2	3.2	1.3	23.9	12.2	12.0
LX-5	280	718.3	159.5	69.9	3.2	1.7	22.6	10.6	11.8
LX-6	370	711.0	166.2	68.9	3.4	1.9	23.3	11.5	11.4
LX-7	510	714.7	166.6	68.6	3.2	1.4	20.7	10.7	12.1
LX-8	620	725.2	155.7	73.8	2.6	1.2	18.9	9.4	12.6
LX-9	700	743.5	143.1	71.7	2.7	1.1	15.9	8.7	12.0
LX-10	760	699.6	176.1	74.7	3.7	1.0	21.9	10.2	12.2

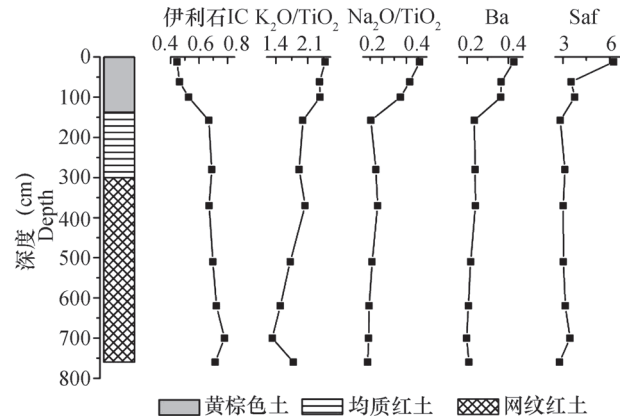


注：Ba：风化淋溶系数；Saf：硅铁铝率

Notes: Ba: $(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; Saf: $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$

图5 XZ剖面伊利石IC值与风化强度指标间的关系

Fig.5 Relationships between IC values and weathering indexes of Profile XZ



注：Ba：风化淋溶系数；Saf：硅铁铝率

Notes: Ba: $(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; Saf: $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$

图6 LX剖面伊利石IC值与风化强度指标间的关系

Fig.6 Relationships between IC values and weathering indexes of Profile LX

研究剖Saf和Ba值总体随剖面深度的加深而降低，反映研究剖面红土风化强度随深度增加而加强（图5和图6）。土壤中易迁移元素（如Ca、Mg、K、Na）和难迁移元素（如Ti、Zr）间的分子

比， CaO/TiO_2 、 MgO/TiO_2 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 也能指示土壤风化强度。研究剖面 MgO/TiO_2 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 随深度增加而逐渐降低（图5和图6），同样反映红土风化强度随深度增加而加强。

表3 安徽宣城第四纪红土剖面XZ和LX风化指标与伊利石IC值之间的相关性

Table 3 Correlations between IC values and weathering indexes of the Quaternary Red Clay Profiles XZ and LX, in Xuancheng City, Anhui Province, Southeast China

		$\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$	CaO/TiO_2	$\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$	MgO/TiO_2	Ba	Saf	Sa
IC	XZ ($n=11$)	-0.818**	0.667*	-0.760**	-0.825**	-0.819**	-0.241	-0.129
	LX ($n=10$)	-0.929**	-0.574	-0.975**	-0.608	-0.979**	-0.696*	-0.628

注：**表示相关性达0.01显著水平；*表示相关性达0.05显著水平 Notes: ** represents the 0.01 significant level; * represent the 0.05 significant level

XZ剖面IC值与Ba、 $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 、 MgO/TiO_2 的负相关性达显著水平（ $p<0.05$ ）（表3）。LX剖面IC值与Saf、Ba、 $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 的负相关性也均达显著水平（ $p<0.05$ ）。IC值与XZ和LX剖面 $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 值的相关性最密切，相关系数（ r ）分别达-0.818和-0.929。这可能由于伊利石层间含有较多钾，钾流失与伊利石蚀变、晶体的分解有密切联系。充分表明第四纪红土IC值，可有效反映红土风化强度。

研究剖面黄棕色土→均质红土→网纹红土IC值逐渐增大，与黏土矿物组合和风化强度变化吻合，可在一定程度上反映长江流域第四纪晚期以来古气

候存在变干冷的趋势，与前人的研究一致^[12, 16-18]。

3 结论

XRD衍射图谱分析表明，第四纪红土的黏土矿物主要为伊利石和高岭石。剖面上部的黄棕色土（下蜀黄土）含有2：1型蛭石；但蛭石在均质红土较少见，网纹红土未见。网纹层下部出现由伊利石蚀变形成的伊利石-蒙脱石混层矿物。研究剖面IC值绝大部分在0.4~0.7之间，结晶程度处于高和中等之间。与北方黄土、古土壤和第三纪红土相比，南方红土伊利石结晶程度较差，风化蚀变较强。研

究剖面红土IC值随剖面深度增加而增加,表明伊利石结晶程度随红土风化增强而变差。红土伊利石IC值与红土风化强度指标显著相关,与 K_2O/TiO_2 值的相关性尤为密切。充分表明红土IC值可反映红土风化强度。第四纪红土剖面从黄棕色土→均质红土→网纹红土,IC值逐渐升高,反映了红土伊利石结晶程度降低,风化程度增强,形成的古气候环境更加湿热。

参考文献

- [1] 鲁春霞. 黏土矿物在古环境研究中的指示作用. 中国沙漠, 1997, 17 (4) : 456—460. Lu C X. Clay minerals as indicators of paleoenvironment (In Chinese). Journal of Desert Research, 1997, 17 (4) : 456—460
- [2] Singer A. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soils and weathering profiles. Earth-Science Reviews, 1980, 15 (4) : 303—326
- [3] Singer A. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments—A review. Earth-Science Reviews, 1984, 21 (4) : 251—293
- [4] 孙庆峰, 陈发虎, Christophe Colin, 等. 黏土矿物在气候环境变化研究中的应用进展. 矿物学报, 2011, 31 (1) : 146—152. Sun Q F, Chen F H, Colin C, et al. Application progress of clay minerals in the researches of climate and environment (In Chinese). Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31 (1) : 146—152
- [5] 熊毅. 土壤胶体. 北京: 科学出版社, 1985. Hseung Y. Soil colloid (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [6] 周晓静, 高抒, 贾建军, 等. 长江黏土矿物示踪标记稳定性的初步研究. 海洋与湖沼, 2003, 34 (6) : 683—692. Zhou X J, Gao S, Jia J J, et al. Preliminary evaluation of the stability of Changjiang clay minerals as fingerprints for material source tracing (In Chinese). Oceanologia Etlimnologia Sinica, 2003, 34 (6) : 683—692
- [7] 汤艳杰, 贾建业, 谢先德. 黏土矿物的环境意义. 地学前缘, 2002, 9 (2) : 337—344. Tang Y J, Jia J Y, Xie X D. Environment significance of clay minerals (In Chinese). Earth Science Frontiers, 2002, 9 (2) : 337—344
- [8] Chamley H. Clay sedimentation and paleoenvironment in the area of Daito Ridge (Northwest Philippine Sea) since the Early Eocene. Washington: Initial Reports DSDP, 58. U. S. Gov. Print. Off, 1980: 683—690
- [9] 师育新, 张卫国, 戴雪荣, 等. 镇江下蜀土中的黏土矿物及其古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25 (4) : 99—105. Shi Y X, Zhang W G, Dai X R, et al. Characteristics of clay mineral assemblage of Xiashu Loess and their paleoenvironmental significance (In Chinese). Marine Geology and Quaternary Geology, 2005, 25 (4) : 99—105
- [10] 彭淑贞, 郭正堂. 风成三趾马红土与第四纪黄土的黏土矿物组成异同及其环境意义. 第四纪研究, 2007, 27 (2) : 277—285. Peng S Z, Guo Z T. Clay mineral composition of the Tertiary Red Clay and the Quaternary loess-paleosols as well as its environmental implication (In Chinese). Quaternary Sciences, 2007, 27 (2) : 277—285
- [11] 刘东生, 等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985: 423—433. Liu D S, et al. Loess and environment (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985: 423—433
- [12] 洪汉烈, 杜登文, 李荣彪, 等. 安徽宣城红土剖面中黏土矿物过渡相及其意义. 中国地质大学学报, 2012, 37 (3) : 424—432. Hong H L, Du D W, Li R B, et al. Mixed-layer clay minerals in the Xuancheng red clay sediments, Xuancheng, Anhui Province (In Chinese). Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2012, 37 (3) : 424—432
- [13] 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
- [14] Hu X F, Wei J, Xu L F, et al. Magnetic susceptibility of the Quaternary Red Clay in subtropical China and its paleoenvironmental implications. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2009, 279: 216—232
- [15] 朱丽东, 叶玮, 周尚哲, 等. 金衢盆地第四纪红土沉积粒度组成特征. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26 (4) : 111—116. Zhu L D, Ye W, Zhou S Z, et al. Grain-size features of quaternary red earth in Jinhua-Quzhou basin (In Chinese). Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26 (4) : 111—116
- [16] 蔡方平, 胡雪峰, 杜艳, 等. 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. 土壤学报, 2012, 49 (2) : 220—229. Cai F P, Hu X F, Du Y, et al. 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 (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49 (2) : 220—229
- [17] Hu X F, Jiang W, Ye W, et al. Yellow-brown earth on Quaternary red clay in Langxi County, Anhui Province in subtropical China: Evidence for paleoclimatic change in late Quaternary period. Journal of Plant Nutrition and

- Soil Science, 2008, 171 (4): 542—551
- [18] Hu X F, Du Y, Liu X J, et al. Polypedogenic case of loess overlying red clay as a response to the Last Glacial-Interglacial cycle in mid-subtropical southeast China. *Aeolian Research*, 2015, 16: 125—142
- [19] 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? (In Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48 (12): 1251—1258
- [20] 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
- [21] 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): 918—925. Hu X F, Zhu Y, Shen M N. Grain-size evidence for multiple origins of the reticulate red clay in southern China (In Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50 (9): 910—918
- [22] 胡雪峰, 龚子同, 夏应菲, 等. 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. *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 Xuanchou, Anhui Province and its palaeo-climate significance (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36 (3): 301—307
- [23] Hong H L, Yin K, Li R B, et al. Randomly interstratified illite-vermiculite from weathering of illite in red earth sediments in Xuancheng, southeastern China. *Geoderma*, 2014, 214/215: 42—49
- [24] Hong H L, Gu Y S, Yin K, et al. Red soils with white net-like veins and their climate significance in south China. *Geoderma*, 2010, 160 (2): 197—207
- [25] 张甘霖, 龚子同. *土壤调查实验室分析方法*. 北京: 科学出版社, 2012. Zhang G L, Gong Z T. *Soil survey laboratory methods* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2012
- [26] 蒲海波. 用X射线衍射分析鉴定黏土矿物的方法. *勘察科学技术*, 2011 (5): 12—14. Pu H B. Method of identifying clay mineral by X-Ray diffraction analysis (In Chinese). *Site Investigation Science and Technology*, 2011 (5): 12—14
- [27] Kbler B. Les argiles, indicateurs de metamorphisme. *PevFtist Franc Petro*, 1964, 19: 1093—1112
- [28] 黄继武. *MDI Jade使用手册——X射线衍射实验操作指导*. 长沙: 中南大学出版社, 2006: 1—49. Huang J W. *MDI Jade instruction manual—X ray diffraction experimental operation guide* (In Chinese). Changsha: Central South University Press, 2006: 1—49
- [29] 赵杏媛, 张有瑜. *黏土矿物与黏土矿物分析*. 北京: 海洋出版社, 1990: 56—120. Zhao X Y, Zhang Y Y. *Clay mineral and clay mineral analysis* (In Chinese). Beijing: Ocean Press, 1990: 56—120
- [30] 王河锦, 陶晓风, Rahn M. 伊利石结晶度及其在低温变质研究中若干问题的讨论. *地质前缘*, 2007, 14 (1): 151—156. Wang H J, Tao X F, Rahn M. Some aspects of illite crystallinity and its applications in low temperature metamorphism (In Chinese). *Earth Science Frontiers*, 2007, 14 (1): 151—156
- [31] 王河锦, 陶晓风, Rahn Meinert. 伊利石结晶度 Kubler, Weaver和Weber指数关系式常数的确定与应用. *高校地质学报*, 2007, 13 (3): 561—565. Wang H J, Tao X F, Rahn M. Determination of constants in the equations of the Kubler, Weaver and Weber indices of illite crystallinity and their applications (In Chinese). *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13 (3): 561—565
- [32] Weaver C E. Possible use of clay minerals in search for oil. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, 1960, 44: 1505—1518
- [33] Diekmann B, Petschick R, Gingele F X, et al. Clay mineral fluctuations in Late Quaternary sediments of the southeastern South Atlantic: Implications for past changes of deep-water advection//Wefer G, Berger W H, Siedler G, et al. *The South Atlantic: Present and past circulation*. Berlin, New York: Springer, 1996: 621—644
- [34] 季峻峰, 陈骏, 王洪涛. 陕西洛川黄土—古土壤剖面中伊利石结晶度——黄土物质来源和古气候环境的指示. *地质论评*, 1997, 43 (2): 181—185. Ji J F, Chen J, Wang H T. Crystallinity of illite from the Luochuan loess-paleosol sequence, Shaanxi Province—Indicators of the origin and paleoclimate of loess (In Chinese). *Geological Review*, 1997, 43 (2): 181—185

RELATIONSHIP BETWEEN ILLITE CRYSTALLINITY (IC) VALUE AND WEATHERING DEGREE OF QUATERNARY RED CLAY IN SOUTHERN ANHUI PROVINCE, SOUTHEAST CHINA

Liu Lihong^{1, 2} Hu Xuefeng^{2†} Ye Wei¹ Xue Yong² Luo Fan² Yan Chenglong²

(1 College of Geographic and Environmental Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

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

Abstract Clay mineral composition and illite crystallinity (IC) value of the Quaternary Red Clay (QRC) in Xuanzhou District (XZ) and Langxi County (LX) of Xuancheng City, Anhui Province, Southeast China, were studied to explore relationship between the two and potential paleo-environmental implications of IC value for formation of the QRC. Clay fraction of the QRC was extracted and then treated with citrate-bicarbonate-dithionite (CBD) to remove free Fe. Mineral composition of the clay fraction was analyzed using the X-ray diffraction (XRD) method, and the width of half maximum height of d_{001} (1.0 nm) peak of illite was measured to calculate IC value. Contents of macro elements of the QRC were analyzed by the X-ray fluorescence (XRF) method, and $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Sa), $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (Saf), Ba value as well as indicators of weathering degree of the QRC, such as CaO/TiO_2 , MgO/TiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ and $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ were calculated. Results show that the clay minerals in different layers of Profiles XZ and LX are quite similar in composition, despite some slight differences. The layer of Yellow-brown Earth (YBE) in the upper part of the profiles is identified as Xiashu Loess formed during the Last Glacial Period, and its clay minerals consist mainly of illite, kaolinite and 2 : 1 type vermiculite, but in the Uniform Red Clay (URC) and Reticulate Red Clay (RRC), the clay minerals are dominated with illite and kaolinite, and nil of vermiculite. However, in the lower part of the RRC, the peak of illite has become wide and flat, and illite-montmorillonite mixed-layer minerals are formed from weathered illite. IC values of the two profiles range between 0.4 and 0.7, suggesting that crystallization degree of the illite lingers between the high and moderate levels. IC value in the profiles varies sharply between layers. It is 0.482, 0.578 and 0.735 on average, respectively, in the YBE, URC and RRC of Profile XZ and 0.454, 0.628 and 0.717 on average, respectively, in the YBE, URC and RRC of Profile LX. The QRC in this study is significantly higher than the loess (0.3 ~ 0.4), paleosols (0.35 ~ 0.5) and Tertiary Red Clay (0.4 ~ 0.5) in the Chinese Loess Plateau, suggesting that the QRC in Southern China is highly weathered, and consequently low in illite crystallinity. In Profile XZ, IC value is negatively correlated with Ba, $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ and MgO/TiO_2 to a significant extent ($p < 0.05$), and in Profile LX, IC is negatively correlated with Saf, Ba, $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ and $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ to a significant extent, too ($p < 0.05$). The correlations between $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ and IC value in Profiles XZ and LX are the most significant, with correlation coefficient (r) being -0.818 and -0.929 , respectively, which may be closely related to the high volume of K existing in the interlayer of illite, and K loss from weathering illite and decomposition of illite crystallines of the QRC. This finding fully demonstrates that IC value can be used as an effective indicator of weathering degree of the QRC in Southern China. In Profiles XZ and LX, IC value increases steadily, indicating that the crystallization degree declines from the YBE to URC and to RRC. Weathering and decomposition of illite in the RRC may also be related to long-term intensive groundwater activities during the formation of vermiculite. In the QRC profiles, the rising trend of IC value with soil depth

coincides with the variation of weathering degree with soil depth. So like particle size of red soil and elemental geochemical indices, IC value of QRC possesses some similar paleoclimatic implications. Therefore, IC value of the QRC can be regarded as one of the effective paleoclimatic indicators, reflecting evolution of the paleoclimate during the period when QRC was forming.

Key words Quaternary Red Clay (QRC) ; Clay minerals; Illite; IC value; Weathering degree

(责任编辑：陈德明)

CONTENTS

Reviews and Comments

- The historical venation of soil science in the past 30 years—Based on the bibliometric analysis Song Changqing, Tan Wenfeng (968)
 Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization Wu Shaohua, Yu Yanna, Zhu Jiang, et al. (977)

Research Articles

- Analysis on spatial-temporal variability of soil organic matter in Henan Province based on Soil Taxonomy Li Ling, Zhang Shaokai, Wu Kening, et al. (989)
 Relationship between illite crystallinity (IC) value and weathering degree of Quaternary Red Clay in southern Anhui Province, Southeast China Liu Lihong, Hu Xuefeng, Ye Wei, et al. (1000)
 Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. (1013)
 Prediction of vertical distribution of soil nitrogen content in soil profile using spectral imaging technique Li Shuo, Wang Shanqin, Shi Zhou (1022)
 Estimation of thickness of soil layer on typical karst hillslopes using a ground penetrating radar Wang Sheng, Chen Hongsong, Fu Zhiyong, et al. (1030)
 Spatio-temporal distribution of dry-wet alteration in surface soil layer of the Huaihe River Basin Cao Yongqiang, Xu Dan, Cao Yang (1042)
 Erosion on dunes of overburden and waste slag in Shenfu coalfield and prediction Guo Mingming, Wang Wenlong, Li Jianming, et al. (1056)
 Dynamics of soil water evaporation from soil mulched with sand-gravels in stripe Zhao Dan, Li Yi, Feng Hao (1067)
 Effect of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil Zhou Xinbin, Yu Shuhui, Xie Deti (1076)
 Release kinetics and bioavailability of nonexchangeable potassium in soil Li Ting, Wang Huoyan, Chen Xiaoqin, et al. (1086)
 Effects of bio-ash ameliorating red soil in acidity Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou, et al. (1095)
 Effect of wheat straw biochar on high chlorinated benzene sorption process and mechanism Li Yang, Song Yang, Wang Fang, et al. (1104)
 Sorption kinetics and mechanism of naphthalene on corn-stalk-derived biochar with different pyrolysis temperature Zhang Mo, Jia Mingyun, Bian Yongrong, et al. (1114)
 Toxicity of deca-brominated diphenyl ether to *Caenorhabditis elegans* Wang Yingli, Chen Jiansong, Yang Yuxiang, et al. (1122)
 Effects of clover and straw decomposition on soil microfaunal community Wang Hui, Gui Juan, Liu Manqiang, et al. (1133)
 Response of soil nematodes to soil salinization induced by seawater intrusion in coastal areas Wang Chengnan, Zhang Weidong, Wang Xuefeng, et al. (1142)
 Relationships of N₂O emission with abundance and composition of denitrifying microorganisms in soil aggregates Zhou Hanchang, Zhang Wenzhao, Liu Yi, et al. (1151)
 Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit Wang Yin, Feng Guozhong, Zhang Tianshan, et al. (1164)

Communications and Comments

- Status quo and problems in setting-up and naming of basic taxon-Soil family in Chinese Soil Taxonomy Yi Chen, Ma Yuxin, Yang Jinling, et al. (1172)

Research Notes

- Effects of drought and rehydration on photosynthetic characteristics of artificial algal crusts Wu Li, Yang Hong, Lan Shubin, et al. (1179)
 Effect of irrigation with saline water on plant root distribution and evolution of aeolian sandy soil in shelterbelts along desert highways Li Congjuan, Tang Junyan, Gao Pei, et al. (1186)
 Distribution of Cu (II) desorption rate in variable charge soils relative to concentrations of NaNO₃ and its affecting factors Zhang Zhengqin, Luo Wenjian, Chen Yong, et al. (1194)

Cover Picture: Toxicity of deca-brominated diphenyl ether (BDE-209) to *Caenorhabditis elegans* (by Wang Yingli)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 5 Sep., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址:南京市北京东路71号 邮政编码:210008
电话:025-86881237
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025-86881237
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
电话:010-64017032
E-mail:journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010-64017032
E-mail:journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京399信箱 邮政编码:100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号:CN 32-1119/P

国内邮发代号:2-560

国外发行代号:BM45

定价:60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

