

DOI: 10.11766/trxb201607250297

海拔与岩性变异对石灰岩发育土壤黏土矿物组成的影响*

张治伟¹ 许娟娟² 严焕德³ 程永毅⁴ 龙晓泳¹

(1 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

(2 怀化市蔬菜科学研究所, 湖南怀化 418000)

(3 中国石油青海油田公司勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736202)

(4 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要 用X射线衍射法研究了中亚热带区海拔、岩性变异对石灰岩发育土壤黏土矿物组成的影响。结果表明: 在海拔约2 000 m的重庆金佛山山顶区, 灰黑色钙质页岩石灰岩发育的黑色石灰土, 矿物组成复杂, 除伊利石为主外, 还有少量蛭石、绿泥石、高岭石和蒙脱石, 有一定量的母质残留矿物(滑石和滑间皂石); 由砂页岩和灰岩互层母质发育的山地黄棕壤, 以蛭石为主, 伊利石和高岭石其次, 有三水铝石和弱结晶针铁矿。在金佛山中下部(600~1 200 m), 石灰岩发育的黄色石灰土以蛭石或伊利石为主, 有一定量的高岭石, 普遍出现针铁矿。湖南怀化盆地海拔200多米, 纯灰岩发育的红色石灰土为伊利石、蛭石和高岭石(含埃洛石)组合型, 有结晶好的针铁矿和少量赤铁矿。海拔显著影响高岭石含量、针铁矿结晶度, 海拔降低时高岭石含量增加, 针铁矿结晶度提高。在金佛山山顶区, 石灰岩母质岩性和微地形变异对土壤成土过程和黏土矿物组成影响显著。

关键词 中亚热带区; 海拔; 岩性; 石灰岩发育土壤; 黏土矿物; 铁氧化物

中图分类号 S153.61; P642.254 **文献标识码** A

土壤黏土矿物是土壤固相最活跃部分, 其类型及组合对土壤物理化学性质、土壤养分、保水保肥、供水供肥性能影响较大。黏土矿物具胶体特性, 对环境污染物具有一定的缓冲作用^[1]。黏土矿物组成也是研究土壤发育和土壤分类的重要依据之一^[2]。Khan^[3]于1960年指出欧洲西部黑色石灰土含蒙脱石多, 红色石灰土多云母。Egli等^[4]指出高海拔碳酸盐岩区以有机酸驱动石灰岩风化占主导, 云母向蛭石转化; 而低海拔区则以碳酸驱动灰岩风化占主导, 铁铝氧化物增加。Singer等^[5]认为石灰岩土壤的发育与母质、发育时间及地形有关, 发现红色石灰土含赤铁矿较多、黄色石灰土针铁矿为主。Navarrete等^[6]指出珊瑚礁石灰岩发育的土壤以方解石、蒙脱石和蛭石为主, 而钙质页岩土壤以高岭石为主。Mella和Mermut^[7]指出印度尼西亚石灰岩红色淋溶土多高岭石, 黑色土多

蒙脱石和云母。Hattar等^[8]发现地中海东岸石灰岩土壤高岭石和铁氧化物向低海拔处增加, 表明低处风化加强。顾新运和许冀泉^[9]1963年指出我国亚热带(滇南、广西)黑色石灰土伊利石为主、棕色石灰土蛭石为主, 红色石灰土为蛭石、高岭石和三水铝石组合型。朱立军等^[10]认为高岭石和埃洛石是贵州碳酸盐岩上覆红土的主要黏土矿物。杨德涌等^[2]指出热带海南岛棕色、红色石灰土以高岭石为主, 其次水云母。章明奎和胡国成^[11]认为石灰岩土壤颜色与风化强度及氧化铁类型有关。

我国西南裸露型岩溶区面积达90多万km², 以丘陵、山地为主, 坡度大; 石灰岩化学溶蚀后残留物少, 成土速度缓慢, 土层薄, 环境恶劣, 是典型生态脆弱区。因此, 深入研究石灰岩区土壤质量与退化、黏土矿物与土壤演化等已经成为喀斯特石漠化治理亟待解决的问题。我国岩溶区跨度大, 各地

* 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2011C048, XDJK2015C071)资助 Supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (Nos. XDJK2011C048, XDJK2015C071)

作者简介: 张治伟(1974—), 男, 湖南怀化人, 硕士, 从事土壤地理学、岩溶环境学研究。E-mail: zflyzzw@swu.edu.cn

收稿日期: 2016-07-25; 收到修改稿日期: 2016-12-06; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2017-01-06

气候、母质、地形和植被差异显著,加上部分地区古石灰岩风化壳的存在,使土壤成土条件丰富多样,进一步影响土壤发生和不同亚类之间的演化。目前,我国岩溶区有关土壤质量与退化、水土保持等方面的研究已经较多,但对于石灰岩发育土壤黏土矿物组成的报道还极为有限且不系统,结论还有差异^[2, 9-10];从黏土矿物组成方面讨论石灰岩发育土壤的发生学性质还需更多的研究,黏土矿物组成演变与各亚类间的演化关系也还有待于进一步补充;而海拔、岩性变异对石灰岩发育土壤黏土矿物的影响还鲜见报道。本研究从海拔2 000多米的岩溶中山到200多米的溶蚀盆地,按海拔高度、岩性和土壤亚类不同取样,研究中亚热带石灰岩区海拔、局地母质差异对石灰岩发育土壤黏土矿物组成影响,以期研究石灰岩土壤演化系列、发育分类及其资源环境效应提供更多的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

在重庆市南川区金佛山北坡和湖南怀化盆地取样。金佛山是渝黔交界大娄山脉主峰,山顶海拔2 000~2 250 m,属二叠系地层。下段为灰黑色钙质页岩石灰岩,在坡度较大的灌丛、阔叶林下,常发育黑色石灰土^[12];上段为砂页岩和灰岩互层母质,在缓坡针叶林(柳杉)下发育山地黄棕壤。金佛山北坡中下部海拔600~1 250 m,石灰岩常发育黄色石灰土。怀化盆地地处湘西南,海拔200~300 m,属浅覆盖型岩溶环境,质纯灰岩上发育红色石灰土,红土厚度1~10 m。表1为供试土壤的基本情况。

1.2 试验方法

根据海拔高度、岩性和土壤亚类的不同,于

表1 供试土壤基本情况

Table 1 Basic features for the studied soils

| 取样地点 Sampling site | 土壤亚类 Soil subgroup | 编号 Soil No. | 海拔 Altitude (m) | 年均温 ^① (℃) | 年均降水量 ^② (mm) | 有效土层 ^③ (cm) | 土壤颜色 Soil color | 地形与植被状况 Conditions of landform and vegetations |
|--|--|----------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|--|
| 重庆金佛山 Jinfo mountain, Chongqing | 黑色石灰土 Black limestone soil | Jf07 | 2 090 | 8.2 | 1 430 | 30 | 黑灰 Dark gray | 坡度较大(约30°),原始常绿阔叶林,腐殖质含量高 ^④ |
| | 山地黄棕壤 Mountain yellow- brown earth | Jf12 | 2 150 | 8.2 | 1 430 | 73 | 橙黄Orange yellow | 坡度较缓(约15°),针叶林,以柳杉为主 ^⑤ |
| | 黄色石灰土 Yellow limestone soil | Jf02 | 1 250 | 13.0 | 1 250 | 60 | 棕黄Brown yellow | 灰岩裂隙石缝土,坡度约15°,灌丛夹稀疏低矮马尾松 ^⑥ |
| | | Jf20 | 600 | 16.5 | 1 200 | 55 | 棕黄Brown yellow | 石缝土,有梔子花等灌木,坡面坡度25°,地块内坡度5° ^⑦ |
| | | Jf23 | 590 | 16.5 | 1 200 | 56 | 亮黄Bright yellow | 地势低,坡度小,退耕约2年,生长禾本科草类 ^⑧ |
| 湖南怀化 Huaihua, Hunan | 红色石灰土Red limestone soil | Hh01 | 260 | 16.8 | 1 300 | 150 | 棕红Brown red | 古石灰岩风化壳发育而成,坡度较缓和,生长油茶等灌木 ^⑨ |

注 Note: ①Mean annual temperature; ②Annual precipitation; ③Effective soil thickness; ④Soil under primitive evergreen broad-leaved forests on steep slope (30° or so), high in organic matter content; ⑤Soil under coniferous forest (mainly *Cryptomeria fortunei*) on relatively gentle slope (about 15°); ⑥Soil under shrubs with sparse *Pinus massoniana lamb*, in a crack between two carbonate rocks on a gentle slope (15°); ⑦Soil under sparse shrubbery (*Gardenia jasminoides*, etc.) in a farmland 5° in slope, between two carbonate rocks on a slope of 25°; ⑧Soil under some gramineous weeds in a low-lying farmland with a gentle slope, abandoned for about two years; ⑨Soil under bushes (oil-tea *camellia*, etc.) and is derived from palaeo-weathering crust of carbonate rocks, on gentle slope

表2 供试土壤基本理化性质

Table 2 Basic physico-chemical properties for the studied soils

| 编号 Soil No. | 层次 Depth (cm) | 有机质 ^① SOM (g kg ⁻¹) | pH (H ₂ O) | 碳酸钙 CaCO ₃ (g kg ⁻¹) | 全铁 ^② Fe _t (g kg ⁻¹) | 游离铁 ^③ Fe _d (g kg ⁻¹) | 铁游离度 ^④ Fe _d /Fe _t (%) | 黏粒铁 游离度 ^⑤ Fe _d /Fe _t ^(clay) (%) | 活性铁 ^⑥ Fe _o (g kg ⁻¹) | 铁活 化度 ^⑦ Fe _o /Fe _d (%) | 黏粒 Clay (< 1 μm) (g kg ⁻¹) | 黏粒硅铝 率 ^⑧ SAR |
|----------------|------------------|---|--------------------------|---|---|--|--|--|--|--|---|-------------------------------|
| Jf07 | 5~30 | 87.14 | 6.28 | 8.95 | 25.54 | 10.13 | 39.66 | 24.01 | 6.45 | 63.67 | 202.3 | 4.13 |
| Jf12 | 30~73 | 23.36 | 5.45 | 0.40 | 72.79 | 28.37 | 38.98 | 53.15 | 18.66 | 65.78 | 263.0 | 1.91 |
| Jf02 | 16~60 | 9.99 | 6.48 | 7.15 | 107.33 | 46.95 | 43.74 | 62.02 | 4.60 | 9.79 | 373.1 | 1.83 |
| Jf20 | 22~55 | 17.58 | 7.18 | 20.13 | 99.23 | 40.93 | 41.25 | 80.96 | 1.98 | 4.84 | 464.9 | 1.80 |
| Jf23 | 23~56 | 10.31 | 6.51 | 11.25 | 97.53 | 42.42 | 43.49 | — | 1.64 | 3.87 | 545.0 | — |
| Hh01 | 40~80 | 4.78 | 6.67 | 6.31 | 94.84 | 47.21 | 49.78 | — | 1.68 | 3.59 | 457.6 | — |

注 Note: ①SOM, soil organic matter; ②Fe_t, soil total iron; ③Fe_d, free iron oxide (iron extracted by dithionite-citrate-bicarbonate solution); ④Fe_d/Fe_t, ratio of Fe_d to Fe_t; ⑤Fe_d/Fe_t^(clay), ratio of Fe_d to Fe_t in clay; ⑥Fe_o, amorphous Fe oxide (iron extracted by oxalate solution); ⑦Fe_o/Fe_d, ratio of Fe_o to Fe_d; ⑧SAR, silica-alumina ratio

2005年和2011年共确立土壤剖面6个(表1)。其中,黑色石灰土1个(Jf07),发育在金佛山顶灰黑色钙质页岩石灰岩上;山地黄棕壤1个(Jf12),发育于金佛山顶砂页岩和灰岩互层母质;黄色石灰土3个(Jf02、Jf20和Jf23),发育在金佛山中下部石灰岩母质上,岩性差异小;红色石灰土1个(Hh01),发育于怀化盆地纯灰岩母质上。野外按发生层次取样,经室内风干,研磨,先通过1.00 mm筛,再用四分法取1/2研磨过0.25 mm筛,搅匀,装瓶备用。采用常规分析方法^[13]测试土壤有机质、pH、CaCO₃、全铁、游离铁、活性铁和颗粒组成,并分析部分样品的黏粒硅铝率。表2为供试土壤基本理化性质。

黏粒提取方法:取30 g已过1.00 mm筛的B层土样,置于高烧杯,加少量蒸馏水湿润,用6%双氧水去有机质,加2%碳酸钠溶液煮沸15 min分散,沉降法提取,重复多次至提取完全,低温60 °C烘干,玛瑙研钵研磨过300目筛。黏粒XRD衍射采用四种方式处理^[7, 14-15]:未经处理的粉末压片法、DCB法去游离铁后镁-甘油饱和定向片法、加热到500 °C和铵盐煮沸定向片法。用XD-3型X射线衍射仪,用Cu-Kα辐射,管压36 kV,管流20 mA, 2θ: 2~55° 或2~32°,步宽0.02°。XRD衍射在2012—2014年完成,由Jade5.0软件完成图谱分析。

2 结 果

2.1 金佛山山顶黑色石灰土黏土矿物组成

Jf07土壤黏土矿物组成较复杂(图1),以伊利石和1.4 nm矿物为主,0.72 nm衍射峰较弱,表明有少量结晶弱的高岭石;2.4 nm、1.2 nm处有显著的衍射峰,经比对,此处为混层矿物的衍射峰。经镁-甘油处理(图2),1.0 nm峰仍最强,仍表明伊利石为主;1.7 nm出现较弱但清晰的衍射峰,有少量蒙皂石;1.4 nm衍射峰显著,该峰可能是蛭石或绿泥石或两者叠加形成,混层矿物的24 Å衍射峰已经扩展至26~27 Å。加热至500 °C后(图3),1.4 nm衍射峰还清晰可见,表明有少量绿泥石。研究指出^[14],铵盐煮沸后蛭石的1.4 nm峰会移至1.05 nm,而绿泥石的1.4 nm峰不变。经铵盐煮沸(图4),Jf07土壤1.4 nm衍射峰仍明显,同时0.473 nm峰出现,也表明绿泥石存在。1.4 nm峰主要由绿泥石和蛭石形成。

Jf07土壤出现较强的3.1 Å衍射峰(图1、图4),还有较强的9.4 Å衍射峰(图3),结合上述地质条件,经峰谱比对,可以确定为滑石的衍射峰。Jf07土壤混层矿物的d₀₀₁峰在24 Å附近,其d₀₀₁与累托石、滑间皂石类似,在二叠系石灰岩夹煤系和泥质的条件下,累托石和滑间皂石均有报道^[16]。重庆南川黄岩地区的滑间皂石发育在二叠

系茅口组下部含碳质滑石灰岩中^[16]，多与黑滑石、方解石和石英共生。南川金佛山与南川黄岩地区属于同一褶皱构造，岩性基本一致。鉴于已有研究^[16]和混层矿物 d_{001} 和 d_{002} 衍射峰位置、以及滑石和少量蒙皂石存在的情况，可以确定混层矿物为1:1规则型的滑间皂石。

2.2 金佛山山顶山地黄棕壤黏土矿物组成

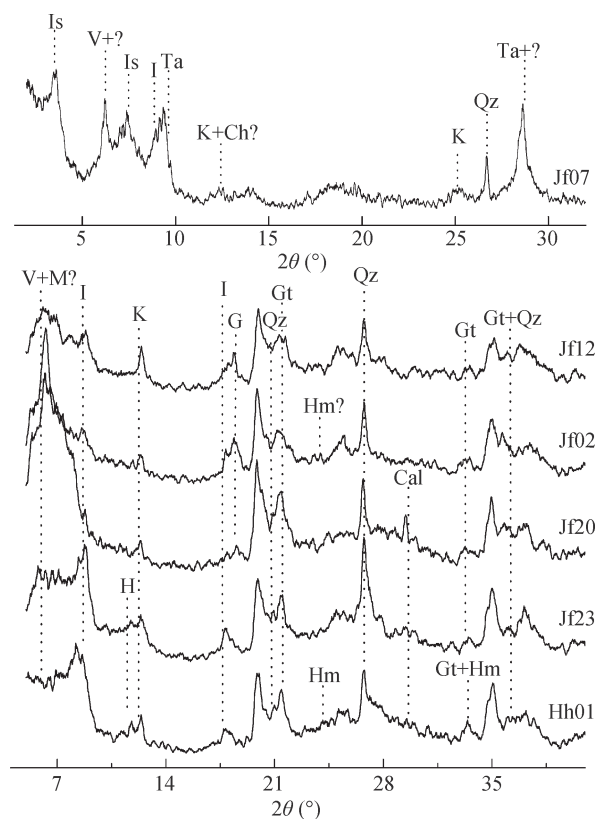
Jf12土壤位置最高，土壤黏土矿物以1.4 nm矿物为主（图1），其次为伊利石、高岭石，有明显的0.485 nm三水铝石衍射峰。镁-甘油饱和处理后（图2），衍射峰基本未变化，未见1.7 nm衍射峰，表明基本不含蒙脱石。加热至500℃后（图3），未见显著的绿泥石1.4 nm衍射峰。铵盐消煮

后（图4），1.4 nm衍射峰完全消失，Jf12土壤基本不含绿泥石，从而确定1.4 nm矿物为蛭石。黏粒中0.418 nm针铁矿峰显著（图1、图4）。

2.3 金佛山中下部黄色石灰土黏土矿物组成

Jf02土壤在山体中部，以1.4 nm矿物为最主要的黏土矿物，有一定量的伊利石和高岭石（图1）；0.485 nm衍射峰较明显，有少量三水铝石；0.418 nm峰明显但峰型宽缓，有弱结晶针铁矿。经镁-甘油饱和处理（图2），峰谱基本未变化，在1.7、0.89 nm出现弱的蒙脱石衍射峰。加热至500℃后（图3），未见绿泥石的1.4 nm峰。Jf02土壤主要矿物为蛭石。

Jf20、Jf23土壤位于金佛山北坡山麓。Jf20土壤以1.4 nm矿物占绝大部分，有少量高岭石，伊利石含量低（图1），有少量方解石（0.302 nm），与其较高的 CaCO_3 含量一致（表2），有少量三水铝石（0.485 nm）。镁-甘油处理后（图2），衍射峰基本未变化，1.4 nm峰主要是蛭石衍射峰，1.7、0.89 nm出现弱的蒙脱石衍射峰。加热到500℃后（图3），未见显著的1.4 nm峰，不含绿泥石。Jf23土壤则以伊利石为主，其次为1:1型的高岭石和埃洛石（图1），有少量1.4 nm矿物，土壤不含三水铝石，有0.418 nm针铁矿衍射峰。镁-甘油饱和后（图2），仍提示较强的伊利石和高岭石峰，蛭石含量低，有少量蒙脱石。土壤不含绿泥石（图3）。



注：Is，混层矿物；V，蛭石；I，伊利石；K，高岭石；Qz，石英；Ta，滑石；G，三水铝石；Gt，针铁矿；Hm，赤铁矿；Cal，方解石；H，埃洛石；M，蒙脱石；Ch，绿泥石；？，不确定矿物。下同 Note: Is, interstratified minerals; V, vermiculite; I, illite; K, kaolinite; Qz, quartz; Ta, talc; G, gibbsite; Gt, goethite; Hm, hematite; Cal, calcite; H, halloysite; M, montmorillonite; Ch, chlorite; ?, unspecified mineral. The same below

图1 土壤黏粒非定向样的XRD衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction (XRD) diagrams for unoriented samples of clay fraction

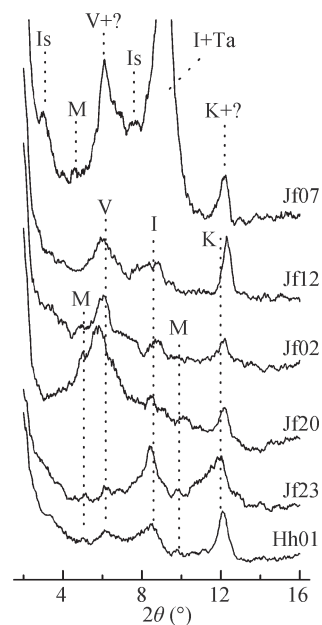


图2 镁-甘油定向片的XRD衍射图谱

Fig. 2 XRD diagrams of the soil oriented with Mg-glycerin

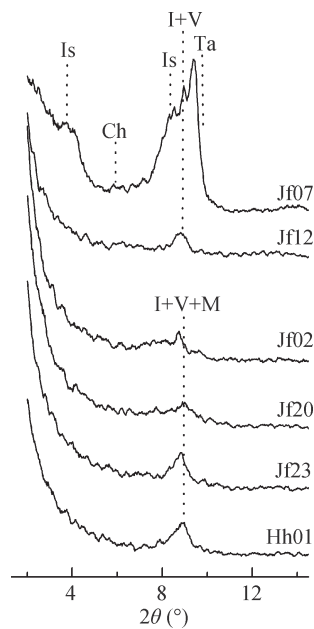


图3 加热至500℃后的XRD衍射图谱

Fig. 3 XRD diagrams of the soil heated to 500 °C

2.4 怀化盆地红色石灰土黏土矿物组成

红色石灰土 (Hh01) B层黏土矿物主要为伊利石 (图1), 1:1型高岭石和埃洛石成为次要矿物, 1.4 nm矿物含量很低, 黏粒含有结晶较好的针铁矿, 有弱的0.368 nm赤铁矿衍射峰。镁-甘油处理后 (图2), 仍以伊利石、高岭石为主, 1.7、8.9 nm有弱的蒙脱石衍射峰。加热至500 °C后未见绿泥石 (图3)。

3 讨论

3.1 海拔对土壤铁氧化物的影响

由图1可见, 海拔高度对石灰岩发育土壤铁氧化物有显著影响。黑色石灰土Jf07海拔高, 有机质含量高, 常年湿润, 铁活化度高, 加上全铁含量低 (表2), 导致XRD未出现显著的晶质铁衍射峰。山地黄棕壤Jf12黏粒中0.418、0.269和0.245 nm衍射峰同时出现 (图1), 说明含有针铁矿, 与其橙黄色一致, 但衍射峰宽缓, 说明结晶度不高, 可能与铁活化度高有关 (表2)。黄色石灰土Jf02、Jf20和Jf23普遍含有一定量的针铁矿 (图1), 海拔较高的Jf02土壤0.418 nm峰仍不尖锐, 表明结晶度仍不高, 位置较低的Jf20和Jf23针铁矿结晶度提高。从Jf12到Hh01土壤 (图1), 针铁矿0.418 nm衍射峰半高宽 ($\Delta 2\theta^\circ$) 分别为0.305、0.268、0.225、

0.221和0.224, 同等条件下可表示针铁矿结晶度随海拔降低而提高。

红色石灰土Hh01黏粒、细土中0.269、0.368 nm衍射峰同时出现 (图1、图5), 说明已经有少量赤铁矿, 与偏红的土壤颜色基本对应。赤铁矿的出现与海拔最低、年均温最高、且干湿交替的气候有关 (梅雨和伏旱)。由于0.269 nm衍射峰为针铁矿130峰和赤铁矿104峰的叠加, Gt130强度约为Gt110的35%, 根据针铁矿Gt110的峰面积大小, 可推算其Gt130强度, 而后在总的0.269 nm衍射强度中扣除Gt130的衍射强度, 即可推算针铁矿与赤铁矿比值 (Gt/Hm) [2]。Hh01的Gt/Hm约为5:1, 依据游离铁、活化度结果 (表2), 估算土壤针铁矿为37.96 g kg⁻¹, 赤铁矿为7.56 g kg⁻¹。

3.2 海拔对1:1型矿物含量的影响

经过对001峰面积的量算 (图1), 结合各矿物比例系数 [15], 估算从Jf07到Hh01土壤, 1:1型矿物含量分别为4%、15%、21%、21%、25%和26%。由于Jf07土壤0.72 nm峰是高岭石d₀₀₁和绿泥石d₀₀₂的叠加峰, 按李学垣 [15] 的办法, 通过比对高岭石0.358 nm和绿泥石0.352 nm峰高, 估算各自在0.72 nm峰中的比重, 从而估算出高岭石的相对百分数。可见, 随海拔降低, 土壤中1:1型矿物含量增加, 以海拔最低的Jf23和Hh01高岭石、埃洛石含量最多, 表明水热条件加强, 高岭石化逐渐加强, 发育程度加深。

3.3 岩性变异对土壤黏土矿物的影响

金佛山山顶两个土壤黏土矿物和土壤性质差异较大, 与局部岩性、微地形和植被差异有关。Jf07受灰黑色钙质页岩石灰岩影响显著, 黏土矿物组成复杂, 除伊利石、蛭石、少量高岭石外, 滑间皂石和滑石属母质残留矿物, 还有抗风化能力弱的绿泥石。同时, 坡度大, 土层浅, 灌丛林地, 利于碳酸

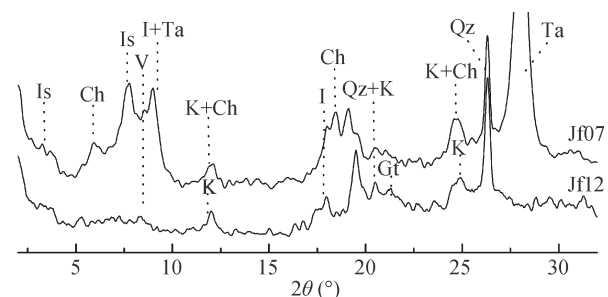
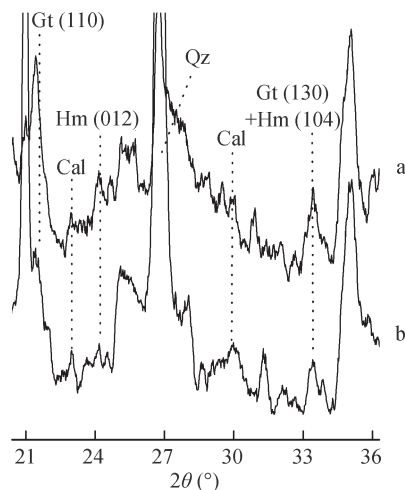


图4 铵盐消煮后的Jf07、Jf12土壤XRD衍射图谱

Fig. 4 XRD diagrams of the soil boiled with ammonium salt



注: a为黏粒样品, b为细土样品 Note: a stands for clay particles and b for fine earth

图5 Hh01土壤铁氧化物检测情况

Fig. 5 Determination of iron oxides in soil Hh01

盐补充, 有一定的游离 CaCO_3 , pH接近中性, 黏粒少, 硅铝率高(表2), 表明该土壤发育较弱; Jf07仍处于黑色石灰土阶段, 其灰黑色可能是腐殖质和碳质黑滑石共同染色形成。Jf12位置稍高, 发育于砂页岩和灰岩互层母质, 其泥质成分稍高; 加上地形和缓, 土层较厚, 利于水分汇聚淋溶, 柳杉针叶林下易于酸性淋洗。Jf12黏粒矿物以蛭石为主, 表明伊利石已经向蛭石转化, 绿泥石消失, 出现三水铝石, 说明淋溶较强, 但该三水铝石可能是多雨高湿、针叶林酸性淋溶下原生矿物迅速脱硅, 直接风化形成^[17]。Jf12碳酸盐残留痕迹, pH较低, 硅铝率较低(表2), 黏粒含量高, 有淀积层(Bt), 属山地黄棕壤。

4 结论

在中亚热带区, 石灰岩发育土壤黏土矿物以2:1型的伊利石或蛭石为主, 1:1型高岭石、埃洛石为次要矿物。海拔高度显著影响高岭石含量和针铁矿结晶度; 随海拔降低, 高岭石含量呈上升趋势, 针铁矿结晶度提高, 土壤发育加深。在金佛山山顶, 石灰岩母质岩性变异、地貌部位差异和植被状况对成土过程和黏土矿物有显著影响; 黑色石灰土受灰黑色钙质页岩石灰岩影响, 矿物组成复杂, 风化弱, 母质残留矿物滑石和滑间皂石较多, 有风化初期矿物绿泥石; 山地黄棕壤受砂页岩和灰岩互

层影响, 矿物风化加深, 出现三水铝石。

参考文献

- [1] Fonseca R M F, Barriga F J A S, Conceição P I S T. Clay minerals in sediments of Portuguese reservoirs and their significance as weathering products from over-eroded soils: A comparative study of the Maranhão, Monte Novo and Divor reservoirs (South Portugal). *International Journal of Earth Sciences*, 2010, 99 (8): 1899—1916
- [2] 杨德涌, 陈世俭, 马毅杰. 海南岛土壤黏粒矿物特征与土壤系统分类. *土壤学报*, 2002, 39 (4): 467—475
Yang D Y, Chen S J, Ma Y J. The characteristics of clay minerals in the soil of Hainan Island and their application in soil taxonomic classification (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39 (4): 467—475
- [3] Khan D H. Clay mineral distribution in some rendzinas, red-brown soils, and terra rossas on limestones of different geological ages. *Soil Science*, 1960, 90 (5): 312—319
- [4] Egli M, Merkli C, Sartori G, et al. Weathering, mineralogical evolution and soil organic matter along a Holocene soil toposequence developed on carbonate-rich materials. *Geomorphology*, 2008, 97 (3): 675—696
- [5] Singer A, Schwertmann U, Friedl J. Iron oxide mineralogy of Terre Rosse and Rendzinas in relation to their moisture and temperature regimes. *European Journal of Soil Science*, 1998, 49 (3): 385—395
- [6] Navarrete I A, Tsutsuki K, Asio V B, et al. Chemical, mineralogical, and morphological characteristics of a late Quaternary sedimentary rock-derived soils in Leyte, Philippines. *Soil Science*, 2011, 176 (12): 699—708
- [7] Mella W, Mermut A R. Genesis and mineralogy of soils formed on uplifted coral reef in West Timor, Indonesia. *Geoderma*, 2010, 154 (3): 544—553
- [8] Hattar B I, Taimeh A Y, Ziadat F M. Variation in soil chemical properties along toposequences in an arid region of the Levant. *Catena*, 2010, 83 (1): 34—45
- [9] 顾新运, 许冀泉. 中国土壤胶体研究V. 滇桂地区石灰岩发育的三种土壤的黏土矿物组成和演变. *土壤学报*, 1963, 11 (4): 411—416
Gu X Y, Xu J Q. Soil colloid researches V. Clay minerals and their transformations in rendzina, terra fusca and terra rossa of Yunnan and Kwangsi (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1963, 11 (4): 411—416
- [10] 朱立军, 傅平秋, 李景阳. 贵州碳酸盐岩红土中的黏土矿物及其形成机理. *矿物学报*, 1996, 16 (3):

- 290—297
- Zhu L J, Fu P Q, Li J Y. Clay minerals in the laterite developed from carbonate rocks in Guizhou Province and their forming mechanism (In Chinese). *Acta Mineralogica Sinica*, 1996, 16 (3): 290—297
- [11] 章明奎, 胡国成. 浙西石灰岩发育土壤中氧化铁矿物组成及特性的研究. *土壤*, 2000, 32 (1): 38—42
- Zhang M K, Hu G C. Study on iron oxides composition and its characteristics of soils derived from limestone in west Zhejiang Province (In Chinese). *Soils*, 2000, 32 (1): 38—42
- [12] 张治伟, 朱章熊, 傅瓦利, 等. 岩溶山地土壤氧化铁形态及其与成土环境的关系. *环境科学*, 2012, 33 (6): 2013—2020
- Zhang Z W, Zhu Z X, Fu W L, et al. Morphology of soil iron oxides and its correlation with soil-forming process and forming conditions in a Karst mountain (In Chinese). *Environmental Science*, 2012, 33 (6): 2013—2020
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [14] 张乃娴, 李幼琴, 赵惠敏, 等. 黏土矿物研究方法. 北京: 科学出版社, 1990
- Zhang N X, Li Y Q, Zhao H M, et al. The research methods for clay minerals (In Chinese). Beijing: Science Press, 1990
- [15] 李学垣. 土壤化学及实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1997
- Li X Y. Soil chemistry and experimental guide (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1997
- [16] 杨雅秀, 张乃娴, 苏昭冰, 等. 中国黏土矿物. 北京: 地质出版社, 1994
- Yang Y X, Zhang N X, Su Z B, et al. Clay minerals of China (In Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 1994
- [17] 徐凤琳, 李学垣, 黄巧云. 鄂、湘两省土地土壤黏粒矿物的研究 II. 莽山北坡土壤中的黏粒矿物. *土壤学报*, 1992, 29 (1): 48—56
- Xu F L, Li X Y, Huang Q Y. Studies on the clay minerals of mountains soils in Hubei and Hunan Provinces II. The clay minerals of soil on the north slope of the Mangshan mountains (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1992, 29 (1): 48—56

Effects of Elevation and Lithology on Clay Mineral Composition of Soils Derived from Limestone

ZHANG Zhiwei¹ XU Juanjuan² YAN Huande³ CHENG Yongyi⁴ LONG Xiaoyong¹

(1 School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(2 Vegetable Science Research Institute of Huaihua city, Huaihua, Hunan 418000, China)

(3 Exploration and Development Research Institute of Qinghai Oil Field Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202, China)

(4 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

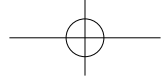
Abstract The purpose of this paper is to determine the effects of elevation and lithology on clay mineral composition of soils derived from limestone in south China. The research areas were located in the Jinfo Mountain, Chongqing municipality, and the Huaihua Basin, Hunan Province, two karst regions. The samples of Black limestone soil (Jf07) and the Mountain yellow-brown earth (Jf12) were collected on the top of the Jinfo Mountain, about 2 000 m in elevation; the samples of Yellow limestone soils (Jf02, Jf20 and Jf23) on the mid-and lower-slopes of the Jinfo Mountain, about 600 ~ 1 200 m in elevation; the sample of Red limestone soil (Hh01) in the Huaihua Basin, Hunan Province, over 200 m in elevation. Soil mineralogy of the samples was determined by X-ray diffraction (XRD) on the < 1 μm (clay) fraction in B horizons. Results show, in the mid-subtropical zone of China, clay minerals in the limestone soils are dominated mainly with 2 : 1-typed illite or vermiculite, in addition to some 1 : 1-typed kaolinite and halloysite. With elevation going downwards, the fractions of kaolinite and goethite in soils exhibit a trend of increase, and their



crystallinity increase too; this shows that, with the locations descending on slope, the soils are intensifying in weathering. On top of the Jinfo Mountain, lithology, topographic feature and vegetation are important factors, affecting soil forming process and mineral composition of the clay. On top of the Jinfo Mountain, the Permian Maokou Formation is a set of stratum of limestone larded with grey-dark carbonaceous shale; the Permian Longtan Formation is a set of interbedded rocks of limestone and sandstone-shale. Due to being significantly affected by the Permian Maokou Formation, Jf07 soil is weak in weathering, its clay mineral composition is complicated; there are certain amounts of talc and aliettite, which are residues from its grey-dark parent rocks. But, Jf12 soil is well-developed, its clay mineral composition is simple, and its main clay mineral is vermiculite; this is attributed to the impact of the parent rock (Permian Longtan Formation) .

Key words Mid-subtropical zone; Altitude; Lithology; Soils derived from limestone; Clay mineral composition; Soil iron oxides

(责任编辑: 卢 萍)



《土壤学报》征稿简则

本刊反映土壤学各分支学科的最新研究成果，主要刊登本领域具有原始创新性的学术论文，以及能反映现代土壤科学发展方向的优秀综述与评论文章，同时也刊登研究简报、重大研究项目进展和问题讨论、学术动态、重要会讯及本领域重要参考书书评等稿件。对于优质稿件，本刊优先发表。

本刊向国内外发行。读者对象主要为土壤学及相关学科的科技人员、高等院校师生和管理人员。

来稿要求及注意事项如下：

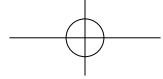
1. 论点明确，数据可靠，论据充分，条理清楚，文字精炼。稿件的体例格式请参考近期本刊。
2. 表格采用三线表，数据纵栏列出。图表数据需进行统计分析。图件、照片清晰准确。图题、图例、图注、表题、表头、表注等同时用中、英文标注，具有自明性。
3. 每篇论文应有250字左右的中文摘要和650字左右的英文摘要，并给出中、英文关键词和论文的中图法分类号。
4. 计量单位一律按国家规定。氮、磷、钾除化肥养分外，一律按元素计量。外文字母和符号均需分清大小写、正斜体。公式中的外文字母、数码和数学符号等的位置高低应区别明显，并用铅笔标注。
5. 参考文献不分文种，均按在文中出现的顺序排列。文献作者三名以上者只列前三名，三名以下（含三名）者应全部列出。英文文献作者姓在前、名在后。中文文献应同时列出中、英文（先中文、后英文）。未公开发表资料可作为脚注列出。举例如下：
[1] 张福锁，王激清，张卫峰，等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报，2008，45（5）：915—924
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45 (5) : 915—924
[2] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京：中国农业科技出版社，2000
Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
[3] Zhao Y C, Shi X Z, Weindorf D C, et al. Map scale effects on soil organic carbon stock estimation in north China. Soil Sci Soc Am J, 2006, 70 (4) : 1377—1386
[4] 徐华. 土壤性质和冬季水分对水稻生长期CH₄排放的影响及机理. 南京：中国科学院南京土壤研究所，2001
Xu H. Effect of soil properties and soil water contents in the winter crop season on CH₄ flux during rice growth period and its mechanisms (In Chinese). Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 2001
[5] Chorover J, Brusseau M L. Kinetics of sorption-desorption//Brantley S L, Kubicki J D, White A F. Kinetics of water-rock interaction. New York, USA: Springer, 2008: 109—149
6. 每篇论文（包括图、表、参考文献、中英文摘要等）一般不超过8印刷页，简报不超过6印刷页。
7. 各类基金资助的文稿，应加题注。通讯作者的联系地址及作者简介等可作脚注。
8. 本刊实行稿件双向盲审制，投稿时须将来稿中的中英文作者姓名、作者单位以及首页脚注中的通讯作者和作者简介等信息全部隐去，以便盲审（注册投稿时请网上填写作者信息）。
9. 为核实来稿署名的真实性，新到稿件本刊及时邮件通知稿件中所有的署名作者。作者投稿时务必通过“添加更多作者”菜单栏填写每一位署名作者的信息，其中E-mail信息为必填项。
10. 作者投稿时可在“备注”栏对稿件的创新点或闪光点进行说明。如有与来稿内容相关的高质量图片或照片，可在投稿时以添加附件形式提交，经本刊甄选采纳后的图片/照片拟在本刊封面上刊出。
11. 来稿文责自负。不得一稿多投。本刊来稿初审通过后经审稿专家审查并通知作者修改的稿件，如无特殊情况须在（自通知之日起）6周内返回本编辑部，否则作自动放弃处理。
12. 本刊印刷版由科学出版社出版，网络版由中国学术期刊（光盘版）电子杂志社、中国科技信息所万方数据网络中心发布，移动版由超星域出版平台发布。来稿一经录用，将由以上三种版式刊载。稿酬于稿件在本刊刊登后一次付清。
13. 本刊已开通远程稿件处理系统，网址为<http://pedologica.issas.ac.cn>。来稿请通过本刊远程稿件处理系统注册登录提交，本刊不再接受电子邮件投稿或纸质投稿。

《土壤学报》编辑委员会

通讯地址：210008 南京市北京东路71号中国科学院南京土壤研究所《土壤学报》编辑部

E-mail: actapedo@issas.ac.cn; dmchen@issas.ac.cn; luping@issas.ac.cn; mzhtan@issas.ac.cn; rfchen@issas.ac.cn

<http://pedologica.issas.ac.cn>



《土壤学报》2016年度审稿专家名录

《土壤学报》编辑部十分感谢本刊执行编委在过去的一年中对本刊的大力支持，同时也真诚感谢下列审稿专家在同行评议审稿中对本刊的贡献。《土壤学报》刊发论文的高质量，与他们认真负责、公正严谨的治学精神密不可分，在此编辑部谨代表读者和作者向本刊执行编委和审稿专家表示诚挚的谢意！

以下是《土壤学报》2016年1月1日至2016年12月31日的审稿人名单（按拼音为序）。

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 蔡强国 | 蔡太义 | 蔡祖聪 | 仓 龙 | 曹 慧 | 曹志洪 | 常庆瑞 | 陈保冬 | 陈 防 | 陈洪松 |
| 陈 杰 | 陈利军 | 陈小云 | 陈效民 | 陈 欣 | 陈新平 | 陈竹君 | 程 谊 | 代静玉 | 戴传超 |
| 丁启朔 | 丁树文 | 丁维新 | 丁武泉 | 丁雪丽 | 董彩霞 | 董元华 | 窦 森 | 杜昌文 | 杜建军 |
| 段桂兰 | 樊贵盛 | 樊建凌 | 方华军 | 方小敏 | 方运霆 | 冯 固 | 冯雄汉 | 冯有智 | 付智勇 |
| 高 娟 | 高 明 | 高彦征 | 郜红军 | 葛体达 | 葛 滢 | 龚子同 | 谷 成 | 关连珠 | 郭景恒 |
| 郭良栋 | 郭书海 | 郭忠升 | 韩晓日 | 韩晓增 | 郝秀珍 | 何琳燕 | 何 萍 | 何 艳 | 和继军 |
| 和文祥 | 贺秀斌 | 侯彦林 | 胡宝兰 | 胡春胜 | 胡红青 | 胡君利 | 胡克林 | 胡荣桂 | 胡文友 |
| 胡雪峰 | 胡振琪 | 黄 标 | 黄朝锋 | 黄成敏 | 黄道友 | 黄绍文 | 黄炎和 | 黄 耀 | 黄元仿 |
| 黄占斌 | 贾仲君 | 姜 海 | 姜 军 | 蒋建东 | 蒋先军 | 金继运 | 巨晓棠 | 康跃惠 | 匡耀求 |
| 雷廷武 | 李 硕 | 李宝林 | 李保国 | 李德成 | 李典友 | 李光杰 | 李贵桐 | 李 航 | 李辉信 |
| 李菊梅 | 李恋卿 | 李培军 | 李品芳 | 李 荣 | 李少昆 | 李书田 | 李思亮 | 李廷强 | 李香真 |
| 李晓敏 | 李 毅 | 李 勇 | 李玉义 | 李跃进 | 李占斌 | 李兆君 | 李振高 | 李忠佩 | 李子忠 |
| 梁爱珍 | 梁 超 | 梁成华 | 梁文举 | 梁 音 | 梁玉婷 | 廖宗文 | 林金石 | 林启美 | 林玉锁 |
| 刘 凡 | 刘 峰 | 刘刚才 | 刘宏斌 | 刘焕军 | 刘建立 | 刘黎明 | 刘满强 | 刘 勤 | 刘四新 |
| 刘文菊 | 刘五星 | 刘小京 | 刘 云 | 刘运德 | 刘兆普 | 刘作新 | 龙怀玉 | 龙锡恩 | 隆小华 |
| 卢升高 | 卢 瑛 | 鲁剑巍 | 鲁艳红 | 陆 森 | 陆玉芳 | 罗小三 | 吕宪国 | 马东豪 | 马 静 |
| 马 可 | 马 强 | 马 挺 | 毛小云 | 毛绪美 | 闵 炬 | 倪才英 | 聂 军 | 潘根兴 | 潘剑君 |
| 潘贤章 | 庞奖励 | 彭 杰 | 齐雁冰 | 冉 炜 | 阮维斌 | 单 军 | 单正军 | 尚松浩 | 沈 宏 |
| 沈菊培 | 沈掌泉 | 盛下放 | 施卫明 | 石建初 | 石孝均 | 史东梅 | 史志华 | 史 舟 | 司友斌 |
| 宋 静 | 宋书巧 | 宋 洋 | 宋玉芳 | 苏以荣 | 苏永中 | 孙 波 | 孙振钧 | 谭文峰 | 谭志远 |
| 唐 明 | 唐翔宇 | 滕 应 | 田长彦 | 同延安 | 汪景宽 | 汪善勤 | 王 超 | 王保战 | 王昌全 |
| 王朝辉 | 王德建 | 王定勇 | 王恩姮 | 王发园 | 王 芳 | 王 风 | 王根绪 | 王光华 | 王 果 |
| 王火焰 | 王锦国 | 王敬国 | 王美艳 | 王秋兵 | 王全九 | 王绍强 | 王慎强 | 王晓蓉 | 王校常 |
| 王兴祥 | 王艳玲 | 王益权 | 王 毅 | 王玉军 | 王正银 | 魏昌龙 | 魏朝富 | 魏世强 | 魏文学 |
| 魏孝荣 | 吴东辉 | 吴凤芝 | 吴海燕 | 吴洪生 | 吴纪华 | 吴克宁 | 吴龙华 | 吴鹏飞 | 吴庆龙 |
| 吴淑芳 | 吴文良 | 吴志峰 | 肖和艾 | 解宏图 | 谢祖彬 | 熊正琴 | 徐明岗 | 徐仁扣 | 徐绍辉 |
| 徐兴良 | 徐阳春 | 薛利红 | 颜晓元 | 颜增光 | 杨 浩 | 杨金玲 | 杨林章 | 杨 琳 | 杨柳燕 |
| 杨明义 | 杨培岭 | 杨奇勇 | 杨勤科 | 杨思存 | 杨永兴 | 杨长明 | 杨忠芳 | 姚荣江 | 叶优良 |
| 叶正钱 | 依艳丽 | 殷士学 | 尹 斌 | 尹云锋 | 尤江峰 | 于东升 | 于方明 | 于贵瑞 | 于君宝 |
| 余龙江 | 宇万太 | 宇振荣 | 庾 强 | 曾从盛 | 曾希柏 | 占新华 | 张凤荣 | 张光辉 | 张会民 |
| 张慧智 | 张金波 | 张 晶 | 张俊伶 | 张科利 | 张黎明 | 张丽梅 | 张丽萍 | 张联合 | 张 民 |
| 张乃明 | 张奇春 | 张仁铎 | 张世熔 | 张淑香 | 张树兰 | 张 伟 | 张信宝 | 张兴义 | 张旭东 |
| 张学雷 | 张杨珠 | 张永春 | 张玉铭 | 张展羽 | 张振华 | 张忠启 | 章家恩 | 章明奎 | 赵炳梓 |
| 赵兰坡 | 赵少华 | 赵同科 | 赵小敏 | 赵 旭 | 赵学强 | 赵彦锋 | 赵永存 | 赵玉国 | 赵振华 |
| 赵之伟 | 郑绍建 | 郑子成 | 钟文辉 | 周宝库 | 周东美 | 周 虎 | 周建斌 | 周 静 | 周可法 |
| 周启友 | 周鑫斌 | 周 勇 | 朱安宁 | 朱 波 | 朱博勤 | 朱利中 | 宗良纲 | 邹建文 | 邹文秀 |
| 邹学勇 | | | | | | | | | |