

文章编号: 1008-2786(1999)03-0193-08

# 海南岛尖峰岭地区山地土壤发生特性

黄成敏<sup>1</sup>, 龚子同<sup>2</sup>

(1. 四川大学环境学院, 四川 成都 610065; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**摘 要:** 对地处热带的海南岛尖峰岭地区的山地土壤的发生和发育特性进行了研究。因母岩因素以及较弱的成土作用和较强的侵蚀作用, 土壤质地普遍较粗, 石砾含量高。由于山地气候的垂直分异, 不同海拔高度土壤间的发生特性存在较大差异。高海拔地区土壤易风化物含量高, 低海拔地区土壤中抗风化能力强的锆石含量高; 高海拔区土壤中粘土矿物以三水铝石和埃洛石为主, 含有一定量的铝蛭石, 低海拔土壤以高岭石为主, 有一定量的水云母。伴随海拔高度的增加, 阳离子交换量(CEC<sub>7</sub>)、盐基总量、盐基饱和度、pH 下降, 而代换性酸 H<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup> 却逐渐增多。高海拔区湿润的水分状况和酸性成土环境导致粘粒的硅铝率、硅铁铝率较低海拔土壤小。尖峰岭地区土壤类型以雏形土为主, 山麓分布有淋溶土。

**关键词:** 尖峰岭; 山地土壤; 土壤发生学

**中图分类号:** S151.1      **文献标识码:** A

尖峰岭地区位于海南岛西南部, 因分布有大面积的热带原始森林, 对于植物学和生态学等领域具有重要的科学意义<sup>[1,2]</sup>。虽然前人对该地区土壤有过一些研究, 但主要是为配合林业生产而从土壤肥力的角度进行调查和研究<sup>[3]</sup>, 以及从土壤系统分类角度涉及尖峰岭地区的部分山地土壤<sup>[4,5]</sup>。尖峰岭地区主要由花岗岩体构成, 山地气候垂直变化显著, 从山麓到山顶构成一个山地气候的土壤系列(Soil Climosequence)。这为热带地区山地土壤形成和发育研究提供了良好场所, 因而深入、全面地探讨这一地区土壤的发生学特点是十分必要的。

## 1 成土环境

尖峰岭地区总面积 472 km<sup>2</sup>。主峰海拔 1 412 m。自西南海岸起, 由滨海台地向丘陵、山地逐渐过渡, 坡度以 20°~40° 最常见。

### 1.1 气候

尖峰岭属热带季风气候, 干湿季分明。湿季(5~10 月)多东南风, 雨量丰富, 占年降雨量的 80% 以上; 旱季(11~4 月), 以西南风为主, 雨量少。山地垂直气候分异明显。表现在: 1. 温度。海拔高度 4.3 m 处, 年均温 25.2℃, 海拔高度 820 m 处, 年均温 19.7℃。年均气温( $T$ )随海拔高度( $H$ )的变化非常明显, 符合以下方程:  $T = 25.0 - 0.006 H^{[1]}$ 。≥10℃ 年积温也随海拔高度增加而降低, 从山麓的 9 100℃ 降至山顶的 6 000℃。同时, 低海拔地面接受辐射热量大, 土温高, 高海拔各层土温都低, 它们之间的差值表现出表层土温差值大, 深层差值小; 干旱低温季节, 各土层差值小, 潮湿高温季节差值大; 2. 降雨量。尖峰岭的降雨量和降雨日数随海拔升高而明显增加, 从海拔 < 100 m 的 1 000 mm、120 d 至 > 1 200 m 的 3 500 mm、180 d; 3. 湿度。低海拔到高海拔水湿条件从干旱、半干旱、微湿润、湿润到潮湿<sup>[1]</sup>。伴随海拔的上升, 气温降低, 辐射减弱, 蒸发量亦减少; 4. 年总辐射随海拔高度的增加而降低, 由山底部 6 000 MJ/m<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup> 降至山顶的 4 500 MJ/m<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup> 左右。

收稿日期: 2000-04-17。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(49831004)。

作者简介: 黄成敏(1968-), 男(汉族), 四川省成都市人, 博士, 1992 年毕业于中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 获硕士学位后留所工作。1999 年毕业于中国科学院南京土壤研究所, 获博士学位。主要从事土壤发生学、土壤退化和土壤地球化学等方面工作。已发表论文近 30 篇。

1.2 植被

主要受山地气候垂直带变化的影响,不同高度地区出现与山地气候相适应的植被类型<sup>[1~3]</sup>。海拔<100 m 地带,属刺灌丛—热带稀树草原,海滨为木麻黄(*Casuarina* spp),向尖峰岭方向则为禾本科为主的稀树草原,间有高大乔木,如木棉(*Gossampinus malabarica*)、酸豆(*Tamarindus indica*)等。热带半落叶季雨林分布海拔(<250 m)的山前丘陵,因人为活动,原始林破坏严重,边缘地带形成多刺灌丛,如蚝壳刺(*Atlantia hainanensis*)、柞木(*Flacourtia indica*)等,向内则分布有森林,主要树种有黑格(*Albizia odoratissima*)、龙眼(*Euphoria longan*)、鸡尖(*Terminalia hainanensis*)、厚皮树(*Lannea grandis*)等。热带常绿季雨林分布在海拔200 m~700 m 的低山,以龙脑香科(*Dipterocarpaceae*)和无患子科(*Sapindaceae*)树种为主,其次有桑科(*Moraceae*)、橄榄树(*Burseraceae*)以及金缕梅科(*Hamamelidaceae*)等树种;林层多层,林下灌木以棕榈科(*Palmaceae*)藤本为主。热带山地雨林分布于海拔700 m~1 000 m 的中山,树种以壳斗科的栲(*Castanopsis*)、栎(*Quercus*)及石栎(*Lithocarpus*)三属为主,其次为竹柏科(*Podocarpaceae*)、山茶科(*Theaceae*)和山榄科(*Sapotaceae*)等,林层多层,林下灌木除棕榈科藤本外,还有藤本化竹类。山顶苔藓矮林分布于海拔1 000 m~1 350 m 的山岭顶部,树种较单纯,层次少,以桃金娘科(*Myrtaceae*)蒲桃属(*Syzygium*)和壳斗科树种为主,林木低矮,干枝多附生苔藓;林下则为杜鹃花科(*Ericaceae*)灌木,地表多弹性毡状层。

2 样品采集与分析

1. 样品采集 选择不同海拔高度的不同水热状况下形成的土壤剖面,进行典型研究。所采集剖面的基本形态特征见表1。

表1 尖峰岭地区土壤剖面的基本形态特征

| Table 1 Basic morphological features of soil profiles in Jianfengling Mountain Area |         |          |      |          |      |        |
|---|---------|----------|------|----------|------|--------|
| 剖面号   | 海拔高度(m) | 土壤深度(cm) | 发生层次 | 土壤颜色(干态) | 粘粒胶膜 | 土壤水分状况 |
| HW~20   | 110     | 0~16     | A1   | 5YR5/2.5 | 无    | 湿润     |
|   |         | 16~31    | A2   | 5YR6/3   | 多量   |        |
|   |         | 31~58    | B    | 2.5YR6/7 | 较少   |        |
|   |         | 58~98    | BC   | 2.5YR6/6 | 多量   |        |
|   |         | 98~140   | C    | 7.5YR7/8 | 无    |        |
| HW~24   | 460     | 0~10     | A    | 5YR7/5   | 无    | 湿润     |
|   |         | 10~29    | AB   | 5YR7/6   | 无    |        |
|   |         | 29~66    | B    | 5YR7/6   | 无    |        |
|   |         | 66~105   | BC   | 5YR7/8   | 无    |        |
|   |         | 105~180  | C    | 5YR7/8   | 无    |        |
| HW~23   | 810     | 0~15     | A    | 10YR7/6  | 无    | 常湿润    |
|   |         | 15~54    | A    | 10YR8/8  | 无    |        |
|   |         | 54~87    | B2   | 10YR8/8  | 无    |        |
|   |         | 87~130   | BC   | 10YR8/8  | 无    |        |
| HW~22   | 815     | 0~9      | A    | 10YR7/4  | 无    | 常湿润    |
|   |         | 9~30     | AB   | 10YR8/8  | 无    |        |
|   |         | 30~60    | B    | 10YR7/8  | 无    |        |
|   |         | 60~86    | BC   | 7.5YR8/6 | 无    |        |
|   |         | 86~130   | C    | 7.5YR8/8 | 无    |        |
| HW~21   | 1160    | 0~12     | A    | 10YR4/3  | 无    | 常湿润    |
|   |         | 12~37    | AB   | 10YR7/6  | 无    |        |
|   |         | 37~80    | B    | 10YR7/8  | 无    |        |
|   |         | 80~105   | BC   | 10YR7/8  | 无    |        |
|   |         | 105~150  | C    | 10YR8/8  | 无    |        |

2 样品分析 土壤的颗粒组成采用吸管法<sup>[9]</sup>。土壤常规分析和粘粒全量分析方法参见文献<sup>[9]</sup>。土壤游离铁、游离铝采用 DCB 溶液(连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-碳酸氢钠)浸提。土壤粘土矿物组成为 X 一射线衍射仪和热分析仪测试。土壤和岩石磁化率用英国 Bartington 公司的 MS<sub>2</sub> 型磁化率测量仪。

3 尖峰岭地区山地土壤的发生学特性

3.1 土壤颗粒组成

由于花岗岩抗风化能力强,且尖峰岭花岗岩中石英含量高<sup>[7,8]</sup>,所以在其坡积物和残积物上发育形成的尖峰岭地区土壤中质地普遍较粗(表 2)。处于山麓的土壤,植被覆盖较差,冲积分选后,大量的石英砾残存于土壤中,所以> 2 mm 石砾含量高;位于山顶的土壤因强烈的降雨淋洗作用,粗砂粒(2 mm ~ 0.1 mm)含量高。各剖面土壤表层(A1、A2 或 AB 层)受降雨和淋洗作用,粘粒含量低,B 层粘粒含量增至最高,向下的 BC 或 C 层,发育弱,所以粘粒含量又降低。

表 2 尖峰岭地区土壤的颗粒组成<sup>1)</sup>  
Table 2 The soil mechanical composition in Jianfengling Mountain Area

| 剖面号   | 土壤深度<br>(cm) | 颗 粒 组 成(粒径: mm, G/kg) |       |         |            |            |            |             |              |         |
|-------|--------------|-----------------------|-------|---------|------------|------------|------------|-------------|--------------|---------|
|       |              | > 2                   | 2 ~ 1 | 1 ~ 0.5 | 0.5 ~ 0.25 | 0.25 ~ 0.1 | 0.1 ~ 0.05 | 0.05 ~ 0.02 | 0.02 ~ 0.002 | < 0.002 |
| HW-20 | 0 ~ 16       | 100                   | 124   | 72      | 123        | 98         | 74         | 123         | 205          | 181     |
|       | 16 ~ 31      | 259                   | 193   | 73      | 89         | 86         | 74         | 102         | 185          | 198     |
|       | 31 ~ 58      | 257                   | 232   | 62      | 57         | 36         | 22         | 105         | 192          | 294     |
|       | 58 ~ 98      | 364                   | 190   | 51      | 56         | 38         | 51         | 75          | 165          | 374     |
|       | 98 ~ 140     | 41                    | 147   | 47      | 58         | 58         | 48         | 130         | 250          | 262     |
| HW-24 | 0 ~ 10       | 200                   | 154   | 108     | 174        | 102        | 77         | 48          | 144          | 193     |
|       | 10 ~ 29      | 224                   | 154   | 128     | 163        | 100        | 31         | 46          | 135          | 243     |
|       | 29 ~ 66      | 233                   | 188   | 117     | 157        | 99         | 39         | 38          | 124          | 235     |
|       | 66 ~ 105     | 206                   | 127   | 111     | 180        | 102        | 13         | 70          | 155          | 242     |
|       | 105 ~ 180    | 213                   | 153   | 106     | 133        | 82         | 39         | 38          | 124          | 325     |
| HW-23 | 0 ~ 15       | 44                    | 12    | 12      | 87         | 277        | 123        | 137         | 153          | 199     |
|       | 15 ~ 54      | 40                    | 10    | 8       | 82         | 266        | 148        | 121         | 172          | 193     |
|       | 54 ~ 87      | 40                    | 21    | 5       | 92         | 238        | 137        | 129         | 145          | 233     |
|       | 87 ~ 130     | 226                   | 31    | 14      | 119        | 257        | 100        | 146         | 168          | 165     |
| HW-22 | 0 ~ 9        | 43                    | 15    | 15      | 130        | 234        | 116        | 91          | 142          | 257     |
|       | 9 ~ 30       | 52                    | 18    | 17      | 112        | 222        | 115        | 116         | 110          | 290     |
|       | 30 ~ 60      | 93                    | 72    | 26      | 124        | 186        | 77         | 87          | 122          | 306     |
|       | 60 ~ 86      | 321                   | 159   | 15      | 101        | 123        | 96         | 72          | 133          | 301     |
|       | 86 ~ 130     | 287                   | 139   | 36      | 114        | 118        | 68         | 79          | 145          | 301     |
| HW-21 | 0 ~ 12       | 23                    | 21    | 35      | 233        | 140        | 165        | 65          | 155          | 186     |
|       | 12 ~ 37      | 67                    | 21    | 21      | 247        | 185        | 95         | 84          | 153          | 194     |
|       | 37 ~ 80      | 39                    | 15    | 15      | 277        | 162        | 111        | 91          | 119          | 210     |
|       | 80 ~ 105     | 85                    | 26    | 26      | 271        | 174        | 94         | 89          | 142          | 178     |
|       | 105 ~ 150    | 121                   | 51    | 51      | 276        | 189        | 104        | 61          | 123          | 145     |

1)表中> 2 mm 粒径颗粒含量以占整个土壤重量计,< 2 mm 各粒径颗粒含量以占细土(< 2 mm 粒径)重量计。

3.2 矿物组成

3.2.1 原生矿物

岩石中原生矿物在风化成土过程中分解、转化的能力存在差异。铁镁含量高的暗色矿物,如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等易风化、分解,随成土作用增强其含量降低;而锆石、石英等抗风化能力强,成土过程中出现相对富集。花岗石中黑云母、角闪石含量分别是 80 g/kg ~ 140 g/kg 和 30 g/kg 左右<sup>[5]</sup>。尖峰岭地区的花岗石斑晶大小有差异,但矿物组成大致相当<sup>[8]</sup>。对尖峰岭山地土壤粗砂粒级(0.02 mm ~ 2 mm)分析表明,土壤中黑云母、角闪石这两种易风化矿物的含量大幅度的减少,海拔高度的升高,黑云母、角闪石以及可风化矿物含量增加,而抗风化能力强的锆石下降(表 3)。而随海拔高度降低,长石遭受的水解作用以及次生变化也逐渐加强<sup>[8]</sup>。这表明海拔高的土壤风化成土作用的强度弱于海拔低地区的土壤。

表 3 土壤粗砂级(0.02 mm~2 mm)中的部分原生矿物含量(g/kg)<sup>[5]</sup>

Table 3 Some primary mineral contents of soils in coarse size(0.02 mm~2 mm)(g/kg)

| 剖面号 | 海拔(m) | 土壤深度(cm) | 黑云母 | 角闪石 | 锆石 | 可风化矿物 |
|-----|-------|----------|-----|-----|----|-------|
| 5   | 620   | 27~61    | 25  | 10  | 81 | 115   |
| 3   | 960   | 0~14     | 30  | 13  | 33 | 127   |
|     |       | 25~40    | 38  | 19  | 81 | 138   |
| 4   | 1270  | 18~45    | 29  | 13  | 20 | 135   |
|     |       | 45~70    | 27  | 13  | 17 | 145   |

3.2.2 粘土矿物

表 4 为经 X—射线衍射和差热分析的结果(限于篇幅,图谱省略)。粘土矿物组成随海拔高度有规律地变化,其中高岭石、水云母含量减少,三水铝石和铝蛭石逐渐增高。低海拔地区土壤次要粘土矿物为水云母,而高海拔区土壤中却是铝蛭石,这与高、低海拔土壤水分状况不同密切相关<sup>[9]</sup>。表 4 中海拔 >800 m 的土壤中存在的高岭石经透射电镜研究确认是管状埃洛石<sup>[8]</sup>。这也是因高海拔地区土壤处于常湿润状况,土壤水分过剩,有利于晶层间游离水分子的埃洛石保存,未能脱水形成高岭石。同时海拔升高,三水铝石含量增多,在此并不说明土壤风化成土作用强度高,而主要是因高山强烈的淋溶作用,母质风化中释放出的 Si(OH)<sub>4</sub> 很快与 Al<sup>3+</sup> 分离,使 Al<sup>3+</sup> 水解、聚合,直接形成三水铝石<sup>[10]</sup>。与热带、亚热带台地、平原地区三水铝石出现所指示的高度富铝化的风化成土过程不一致。另外,山麓降雨虽相对较少,但气温高,钙、镁等盐基离子淋失快,高海拔处,气温较低可降雨多,钙、镁等离子在酸性环境中也能以保存,因而只在尖峰岭地区坡下部(约海拔 400 m),存在相对较多的钙、镁,出现少量蒙皂石<sup>[11]</sup>。

表 4 尖峰岭山地土壤中粘土矿物组成特征<sup>1)</sup>

Table 4 The composition of clay minerals in Jianfengling Mountain Area

| 部面号   | 土壤深度(cm) | 高岭石  | 三水铝石 | 水云母 | 蒙皂石 | 铝蛭石 |
|-------|----------|------|------|-----|-----|-----|
| HW-20 | 31~58    | ++++ | —    | +++ | —   | —   |
|       | 58~98    | ++++ | —    | +++ | —   | —   |
| HW-24 | 10~29    | ++++ | —    | ++  | +   | —   |
|       | 29~66    | ++++ | —    | ++  | +   | —   |
|       | 66~105   | ++++ | —    | ++  | +   | —   |
| HW-22 | 9~30     | ++++ | ++   | —   | —   | +   |
|       | 30~60    | ++++ | ++   | —   | —   | +   |
|       | 60~86    | ++++ | ++   | —   | —   | +   |
| HW-21 | 12~37    | +++  | +++  | —   | —   | ++  |
|       | 37~80    | +++  | +++  | —   | —   | ++  |
|       | 80~105   | +++  | +++  | —   | —   | ++  |

1)++++表很多,+++表较多,++表一定量+表少量,—表未检出。

3.3 一般化学特性

山地土壤的有机碳含量较高,表层因受植被残落物分解影响有机碳含量明显高于下层土壤。土体中全磷高于花岗岩约 0.239 k/kg 的含量<sup>[7]</sup>,是生物表积累作用的结果(表 5)。土壤中金钾受到了强烈的淋溶,较母岩中约 74 g/kg 左右全铁含量明显降低。各剖面土壤中铁含量最低 19.3 g/kg,高可达 60 g/kg 以上,均高于尖峰岭花岗岩 11 g/kg 左右全铁含量。水和 KCl 浸提 pH 值均随海拔高度增加而降低,这是盐基离子淋溶增强,交换性氢和铝含量增多的结果。

3.4 土壤的交换性能

由于成土条件的差异,导致土壤在粘土矿物、颗粒组成等性质不同,致使土壤的交换性能也随海拔高度出现有规律地变化。海拔高度的增加,阳离子交换量(CEC<sub>7</sub>)减少,同时因盐基离子淋溶强度的增加,盐基总量、盐基饱和度不断下降,而代换性酸(H<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup>)却逐渐增加(表 6)。粘粒 CEC 值均 > 24 cmol(+) / kg 粘粒,不具有低活性粘粒,也说明这一地区土壤发育程度不高。

3.5 铁、铝氧化物与磁化率

由表 7 可见, 尖峰岭地区土壤中游离铁含量较高, 铁游离度一般大于 60 %; 根据土壤颜色和成土环境判断, 低海拔地区的土壤(HW-24、HW-20)铁氧化物以赤铁矿为主, 高海拔的土壤则以针铁矿为主。络合铁含量高低主要受有机络合物影响, 所以络合铁与有机碳含量呈幂函数形式显著相关( $R^2=0.7134$   $n=24$ )。DCB 溶液提取的土壤游离铝含量未随海拔高度出现规律性的变动, 是因为其不能反映土壤发生过程中形成的铝的数量[ 12]。而络合铝与有机碳相关不显著, 则有待进一步探讨。

表 5 尖峰岭地区土壤的一般化学特性  
Table 5 Some chemical properties of Soils in Jianfengling mountain Area

| 剖面号   | 土壤深度<br>cm | 有机 C<br>g/kg | 全氮<br>g/kg | 全磷<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , g/kg | 全钾<br>K <sub>2</sub> O, g/kg | 全铁<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , g/kg | pH               |      |
|-------|------------|--------------|------------|--|------------------------------|---|------------------|------|
|       |            |              |            |  |                              |   | H <sub>2</sub> O | KCl  |
| HW-20 | 0~16       | 17.4         | 1.3        | 1.0  | 28.5                         | 31.5  | 5.77             | 4.15 |
|       | 16~31      | 7.1          | 0.6        | 0.7  | 25.5                         | 32.6  | 5.03             | 3.74 |
|       | 31~58      | 4.5          | 0.5        | 1.3  | 21.3                         | 59.3  | 5.00             | 3.69 |
|       | 58~98      | 4.2          | 0.4        | 1.1  | 17.3                         | 46.1  | 4.86             | 3.62 |
|       | 98~140     | 3.5          | 0.4        | 1.2  | 26.2                         | 62.6  | 5.14             | 3.79 |
| HW-24 | 0~10       | 9.1          | 0.8        | 0.4  | 42.9                         | 26.7  | 4.56             | 3.13 |
|       | 10~29      | 6.8          | 0.6        | 0.5  | 32.1                         | 26.2  | 4.65             | 2.98 |
|       | 26~29      | 4.9          | 0.5        | 0.4  | 39.1                         | 25.5  | 4.60             | 2.97 |
|       | 66~105     | 6.3          | 0.6        | 0.3  | 38.9                         | 27.8  | 4.97             | 3.11 |
|       | 105~180    | 4.6          | 0.5        | 0.4  | 36.4                         | 33.3  | 4.86             | 3.06 |
| HW-23 | 0~15       | 14.3         | 1.3        | 0.3  | 9.3                          | 24.1  | 4.26             | 3.02 |
|       | 9~30       | 10.4         | 0.8        | 0.3  | 8.4                          | 27.0  | 4.14             | 3.01 |
|       | 30~60      | 6.8          | 0.6        | 0.3  | 7.6                          | 29.9  | 4.35             | 3.04 |
|       | 60~86      | 3.4          | 0.3        | 0.2  | 5.4                          | 30.9  | 4.57             | 3.09 |
|       | 86~130     | 2.7          | 0.3        | 0.2  | 4.3                          | 37.2  | 4.57             | 3.10 |
| HW-21 | 0~12       | 30.7         | 2.2        | 0.6  | 31.0                         | 24.2  | 3.87             | 3.05 |
|       | 12~37      | 14.4         | 1.1        | 0.4  | 29.8                         | 20.9  | 4.17             | 3.09 |
|       | 37~80      | 3.9          | 0.5        | 0.3  | 31.0                         | 19.3  | 4.37             | 3.06 |
|       | 80~105     | 2.7          | 0.3        | 0.4  | 33.5                         | 24.1  | 4.51             | 3.02 |
|       | 105~150    | 2.6          | 0.3        | 0.3  | 38.6                         | 28.5  | 4.53             | 3.03 |

表 6 尖峰岭地区土壤交换性能随海拔高度的变化特征  
Table 6 The variation of soil exchange power with elevation change in Jianfengling Mountain Area

| 剖面号   | 土壤深度    | CEC <sub>7</sub> | 盐基总量         | 代换性 H <sup>+</sup> | 代换性 Al <sup>3+</sup> | 盐基饱和度 | 粘粒 CEC       |    |
|-------|---------|------------------|--------------|--------------------|----------------------|-------|--------------|----|
|       |         | cmol(+) / kg     | cmol(+) / kg | cmol(+) / kg       | cmol(+) / kg         | %     | cmol(+) / kg | 粘粒 |
| HW-20 | 0~16    | 14.7             | 7.7          | 0.2                | 0                    | 53    |              | 80 |
|       | 16~31   | 11.8             | 4.2          | 0.4                | 0.1                  | 35    |              | 59 |
|       | 31~58   | 11.8             | 5.5          | 0.2                | 0.2                  | 47    |              | 40 |
|       | 58~98   | 12.4             | 5.0          | 0.4                | 0.1                  | 41    |              | 33 |
|       | 98~140  | 13.1             | 6.8          | 0.2                | 0.1                  | 52    |              | 50 |
| HW-24 | 0~10    | 13.2             | 3.8          | 0.5                | 0.9                  | 29    |              | 68 |
|       | 10~29   | 12.3             | 2.6          | 0.6                | 2.6                  | 21    |              | 50 |
|       | 29~66   | 11.1             | 2.6          | 0.5                | 2.9                  | 23    |              | 47 |
|       | 66~105  | 12.2             | 4.2          | 0.8                | 1.1                  | 35    |              | 50 |
|       | 105~180 | 14.6             | 4.7          | 1.5                | 1.3                  | 32    |              | 44 |
| HW-23 | 0~15    | 11.9             | 1.0          | 0.8                | 3.1                  | 8     |              | 59 |
|       | 15~54   | 11.9             | 0.9          | 0.5                | 3.8                  | 8     |              | 61 |
|       | 54~87   | 11.2             | 1.0          | 0.5                | 3.1                  | 9     |              | 48 |
|       | 87~130  | 11.7             | 1.6          | 0.5                | 3.1                  | 8     |              | 70 |
| HW-22 | 0~9     | 11.4             | 1.4          | 0.6                | 2.2                  | 12    |              | 44 |
|       | 9~30    | 10.8             | 0.9          | 0.6                | 2.5                  | 8     |              | 37 |
|       | 30~60   | 10.3             | 0.7          | 0.5                | 2.6                  | 7     |              | 33 |
|       | 60~86   | 8.9              | 1.0          | 0.5                | 2.0                  | 11    |              | 29 |
|       | 86~130  | 8.9              | 1.0          | 0.5                | 1.9                  | 12    |              | 29 |
| HW-21 | 0~12    | 14.0             | 0.9          | 0.5                | 3.6                  | 7     |              | 75 |
|       | 12~37   | 11.8             | 0.8          | 0.5                | 3.5                  | 7     |              | 60 |
|       | 37~80   | 11.1             | 0.7          | 0.4                | 4.0                  | 6     |              | 53 |
|       | 80~105  | 10.8             | 0.8          | 0.4                | 4.2                  | 7     |              | 60 |
|       | 105~150 | 11.9             | 0.8          | 0.4                | 3.8                  | 7     |              | 81 |

表 7 尖峰岭地区土壤的铁、铝氧化物含量  
Table 7 The contents of Fe and Al oxides in Jianfengling Mountain Area

| 剖面号   | 土壤深度<br>cm | 游离铁<br>g/kg | 铁游离度<br>% | 络合铁<br>mg/kg | 游离铝<br>g/kg | 络合铝<br>mg/kg |
|-------|------------|-------------|-----------|--------------|-------------|--------------|
| HW-20 | 0~16       | 23.3        | 74        | 422          | 4.2         | 132          |
|       | 16~31      | 24.8        | 77        | 234          | 4.1         | 200          |
|       | 31~58      | 45.3        | 77        | 41           | 6.6         | 287          |
|       | 58~98      | 42.1        | 92        | 45           | 6.0         | 87           |
|       | 98~140     | 50.4        | 81        | 41           | 6.9         | 106          |
| HW-24 | 0~10       | 16.9        | 64        | 113          | 2.6         | 390          |
|       | 10~29      | 18.8        | 72        | 159          | 2.3         | 326          |
|       | 29~66      | 17.0        | 67        | 159          | 2.4         | 520          |
|       | 66~105     | 20.9        | 76        | 136          | 2.8         | 81           |
|       | 105~180    | 20.7        | 63        | 91           | 2.9         | 152          |
| HW-23 | 0~15       | 13.1        | 66        | 933          | 3.9         | 250          |
|       | 15~54      | 15.0        | 74        | 537          | 4.3         | 415          |
|       | 54~87      | 16.0        | 73        | 169          | 5.2         | 475          |
|       | 87~130     | 18.8        | 76        | 17           | 4.3         | 287          |
| HW-22 | 0~9        | 19.7        | 82        | 529          | 5.4         | 326          |
|       | 9~30       | 22.5        | 84        | 484          | 6.4         | 326          |
|       | 30~60      | 24.4        | 82        | 173          | 7.6         | 272          |
|       | 60~86      | 26.9        | 87        | 41           | 7.3         | 119          |
|       | 86~130     | 31.0        | 84        | 29           | 8.7         | 62           |
| HW-21 | 0~12       | 13.5        | 56        | 2002         | 6.5         | 415          |
|       | 12~37      | 14.7        | 71        | 2316         | 5.2         | 449          |
|       | 37~80      | 14.9        | 77        | 265          | 4.9         | 440          |
|       | 80~105     | 13.9        | 58        | 70           | 5.9         | 221          |
|       | 105~150    | 13.6        | 48        | 145          | 4.3         | 173          |

土壤磁化率显示,虽然尖峰岭地区花岗岩的主要矿物和化学组成相近,然而磁铁矿的含量有较大差异,其中 HW-24 剖面土壤下伏母岩中含量高,使 HW-21 和 HW-24 剖面土壤、特别是母岩的磁化率值相差悬殊(表 8)。由表 8 还可发现因土壤风化成土作用不强和湿润的水分条件,原生在磁铁矿(HW-24 剖面)被分解,而次生的对磁化率有较大贡献的磁赤铁矿未能形成,所以母岩的磁化率高于土壤。

表 8 尖峰岭地区部分土壤的磁化率  
Table 8 The magnetic susceptibility in some soils in Jianfengling Mountain Area

| 剖面号   | 土壤深度(cm) | 磁化率 $10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ | 剖面号   | 土壤深度(cm) | 磁化率 $(10^{-8} \text{m}^3/\text{kg})$ |
|-------|----------|------------------------------------|-------|----------|--------------------------------------|
| HW-21 | 0~16     | 7                                  | HW-24 | 0~10     | 44                                   |
|       | 16~31    | 10                                 |       | 10~29    | 30                                   |
|       | 31~58    | 8                                  |       | 29~66    | 29                                   |
|       | 58~98    | 9                                  |       | 66~105   | 33                                   |
|       | 98~140   | 11                                 |       | 105~180  | 14                                   |
|       | 花岗岩      | 17                                 |       | 花岗岩      | 694                                  |

3.6 粘粒的化学组成

风化成土过程中,粘粒中的铁、铝含量较整个土体更为富集(表 5、表 9)。Ca、K、Na 等元素淋失较为强烈,Mg 不明显。从另一侧面反映土壤风化成土作用不强。另外,成土作用相对较弱的高海拔区的土壤 HW-22、HW-21 中粘粒的硅铝率、硅铁铝率反而低于海拔区的 HW-20、HW-24。原因在于除前述的 HW-22、HW-21 土壤中形成有大量三水铝石外,在较酸性的条件下,  $\text{Al}^{3+}$  或  $\text{OH-Al}$  可作为阳离子进入一些膨胀性粘粒矿物的晶层间,形成 2:1:1 型含层间铝的粘粒矿物,如铝蛭石等,使得高山地区位低海拔的土壤粘粒的硅铝率、硅铁铝率高于高海拔区的土壤<sup>[10]</sup>。因而,根据粘粒的硅铝率说明土壤(尤其是高山地区)风化成土作用的强弱应慎重。

表 9 尖峰岭地区土壤粘粒的化学组成

Table 9 The chemical composition of soil clays in Jianfengling Mountain Area

| 剖面号   | 土壤深度<br>cm | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub>                 | SiO <sub>2</sub>                |
|-------|------------|------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|       |            | g/kg             |                                |       |      |                  |                   |                               |                  | / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| HW—20 | 31~58      | 407.9            | 93.8                           | 334.1 | 2.0  | 7.5              | 11.5              | 0.82                          | 1.97             | 2.07                             | 1.76                            |
|       | 58~98      | 400.9            | 93.2                           | 340.3 | 3.4  | 8.8              | 14.5              | 1.36                          | 1.93             | 7.0                              | 1.70                            |
| HW—24 | 10~29      | 480.8            | 54.7                           | 319.4 | 0    | 8.3              | 22.6              | 1.83                          | 0.50             | 2.7                              | 2.30                            |
|       | 29~66      | 498.9            | 54.6                           | 305.2 | 3.2  | 6.9              | 21.3              | 2.11                          | 0.49             | 2.8                              | 2.49                            |
|       | 66~105     | 491.4            | 50.7                           | 316.1 | 2.5  | 6.4              | 27.1              | 2.48                          | 0.47             | 2.4                              | 2.39                            |
| HW—22 | 9~30       | 357.2            | 70.3                           | 393.2 | 0    | 4.8              | 4.5               | 0.60                          | 0.48             | 4.3                              | 1.38                            |
|       | 30~60      | 366.8            | 69.9                           | 385.7 | 0    | 5.2              | 5.0               | 0.64                          | 0.53             | 4.3                              | 1.45                            |
|       | 60~86      | 466.3            | 67.5                           | 358.8 | 0    | 4.7              | 5.0               | 0.87                          | 0.35             | 4.1                              | 1.97                            |
| HW—21 | 12~37      | 351.6            | 68.5                           | 386.2 | 2.7  | 7.4              | 7.3               | 1.09                          | 0.85             | 2.1                              | 1.43                            |
|       | 37~80      | 443.0            | 57.3                           | 329.7 | 2.6  | 7.1              | 27.0              | 3.02                          | 0.56             | 4.6                              | 2.05                            |
|       | 80~105     | 410.8            | 59.8                           | 359.5 | 1.59 | 7.0              | 18.4              | 2.12                          | 0.54             | 4.6                              | 1.75                            |

4 尖峰岭地区土壤系统分类

根据《中国土壤系统分类》<sup>[13]</sup>, 对所分析的土壤剖面类型划分, 可以发现尖峰岭地区土壤以雏形土为主, 山麓低处有淋溶土分布(表 10)。

表 10 尖峰岭地区土壤的系统分类

Table 10 Soil taxonomic classification in Jianfengling Mountain Area

| 剖面号   | 土壤类型(亚类)  | 诊断层和诊断特性                                      |
|-------|-----------|---|
| HW—20 | 铁质酸性湿润淋溶土 | 湿润土壤水分、粘粒淀积胶膜、粘化层、铁质特性、B 层 pH<5.5 和盐基饱和度<50 % |
| HW—24 | 红色铁质湿润雏形土 | 湿润土壤水分 雏形层、铁质特性、5YR 色调                        |
| HW—23 | 普通铝质常湿雏形土 | 常湿润土壤水分、雏形层、铝质特性                              |
| HW—22 | 普通铝质常湿雏形土 | 常湿润土壤水分、雏形层、铝质特性                              |
| HW—21 | 腐殖铝质常湿雏形土 | 常湿润土壤水分、雏形层、铝质特性、腐殖质特性                        |

5 结论

山地土壤有其特有的发生与发育特点。因花岗岩难风化以及较弱的成土作用和侵蚀作用, 尖峰岭地区土壤质地较粗, 石砾含量高。受山地垂直带气候分异的控制, 不同海拔高度土壤间的发生特性有着较为明显的差异。高海拔地区土壤中可风化矿物总量以及角闪石和黑云母等易风化矿物含量高, 低海拔地区土壤中抗风化力强的锆石含量高; 高海拔区土壤中粘土矿物以三水铝石和埃洛石为主, 含有一定量的铝蛭石, 低海拔土壤以高岭石为主, 有一定量的水云母。伴随海拔高度的增加, 阳离子交换量、盐基总量、盐基饱和度、pH 下降, 而代换性酸(H<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup>)却逐渐增多。由于高海拔区常湿润的水分状况和酸性环境, 其粘粒的硅铝率、硅铁铝率较低海拔土壤小。尖峰岭地区土壤类型以雏形土为主, 山脚分布有淋溶土。

参加野外工作的还有中国科学院南京土壤研究所的杜国华研究员、华南热带农业大学的梁继兴教授和林电同志。粘土矿物和部分常规化学分析分别由中国科学院南京土壤研究所的杨德涌和过兴度先生完成; 陈志诚研究员在研究过程中给予具体指导, 在此一并致谢!

参考文献:

[1] 蒋有绪, 卢俊培, 等. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 19~30.

[2] 黄全, 李意德, 郑德璋, 等. 海南岛尖峰岭地区植被生态系列[J]. 植物生态与地植物学学报, 1986, 10(2): 90~105.

[3] 杨继镐, 卢俊培. 海南岛尖峰岭热带森林土壤的调查研究[J]. 林业科学, 1983, 19(1): 88~94.

[4] 赵文君, 陈志诚. 海南岛主要土壤的类型鉴别与检索[A]. 见: 龚子同. 中国土壤系统分类进展[C]. 北京: 科学出版社, 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

出版社, 1993. 91~104.

- [5] 罗家贤, 杨德涌, 蒋梅茵, 等. 海南省一些山地土壤的矿物特性及其在系统分类中的意义[ A]. 见: 龚子同. 中国土壤系统分类进展[ C]. 北京: 科学出版社, 1993. 329~336.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[ M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 62~411.
- [7] 周瑞荣, 王明珠, 何圆球, 梅岭, 罗浮山, 尖峰岭成土过程中的地球化学特点[ J]. 土壤专报, 1987, (41): 159~168.
- [8] 李淑秋. 海南岛花岗岩成土过程长石风化的超显微研究[ J]. 土壤专报, 1989, (43): 67~76.
- [9] 熊毅, 陈家坊. 土壤胶体的性质[ M]. 北京: 科学出版社, 1990. 514~475.
- [10] 于天仁, 陈志诚. 土壤发生中的化学过程[ M] 北京: 科学出版社. 1990. 432~475.
- [11] 杨德涌. 中国土壤胶体研究(IX), 广东两对黄壤和红壤的粘粒矿物比较[ J]. 土壤学报, 1985, 22(1): 36~46.
- [12] Wada k. Alboplane and imogolite[ A]. In: Dixon, J B and SB Weed (eds). Minerals in soil environment[ C]. Soil Sci Soc Am, 1989. 1051-1087.
- [13] 龚子同. 中国土壤系统分类—理论·方法·实践[ M]. 北京: 科学出版社 1999. 539~708.

## STUDY ON PEDOGENESIS AND DEVELOPMENT OF MOUNTAIN SOILS IN JIANFENGLING MOUNTAIN AREA

HUANG Cheng-min<sup>1</sup>, GONG Zi-tong<sup>2</sup>

(1. College of environmental Science & Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065 PRC;

2. Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008 PRC)

**Abstract:** Granites predominantly distribute in lithology in Jianfengling Mountain Area of Hainan Island, situated in tropic region. The soils from the foothill to peak form a soil chemosequence in this area due to great vertical variation in mountain climate. It is favorable to research on pedogenesis and development of mountain soils in tropical region. It has been studied that the change of pedogenic characteristics, e. g. mechanic composition, make up of primary minerals and clay minerals, basic chemical features, exchange power, oxides of iron and aluminum, magnetic susceptibility, and chemical composition of clays in mountain soils at different elevation with mountain climates. The soil texture is coarse and gravel content is high universally due to weathering-resistance of parent rock-granite, weak soil formation and strong soil erosion. Great variation of pedogenetic characteristics among soils at different altitude results from the vertical diversity of mountain climates. The content of weatherable minerals is great in soils at high elevation in contrast to high content of zircon, as a weathering-resistance mineral, in soils at low elevation. Gibbsite and halloysite are dominant clay minerals and Al-vermiculite is secondary in soils at high altitude while kaolinite is predominant and hydromica is secondary clay mineral at low altitude. With elevation increasing, CEC<sub>7</sub>, sum of base, base saturation degree, and pH decrease, however, exchangeable hydrogen and aluminum add gradually, the ratios of clay silica—alumina and silic-sesquioxide in soils at high elevation, which developed in perudic moisture regime and from acid leaching, are lower than those at low elevation. Cambisols mainly occupy in Jian Feng Ling Mountain Area, meanwhile Argisols distribute in foothill.

**Key words:** Jianfengling mountain; mountain soils; pedology