

湘中南丘岗地区土壤发生特性及系统分类

刘杰^{1,2}, 张杨珠², 罗尊长¹, 曾希柏³

(1.湖南省土壤肥料研究所,湖南长沙 410125; 2.湖南农业大学 资源环境学院,湖南长沙 410128; 3.中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所,北京 100081)

摘要:选取湖南省中南部丘岗地区 11 个土壤剖面,研究其土壤成土环境和形成特点。结果表明,该区土壤质地以黏土为主,土壤黏粒淋溶明显,黏化过程较强,各剖面表现出铁游离度高、活化度低的特点,处于中度富铁化过程。根据《中国土壤系统分类检索(第三版)》,鉴定了诊断层和诊断特性,确定了供试土壤剖面在中国土壤系统分类中的归属,其中原发生分类中的红壤(04、22、23 号剖面)属普通强育湿润富铁土;红壤(07、13 号剖面)属网纹筒育湿润富铁土;菜园土(19 号剖面)属斑纹肥熟旱耕人为土;紫色土(20 号剖面)属酸性紫色正常新成土;粗骨土(21 号剖面)属普通湿润正常新成土;石灰土(01 号剖面)属普通钙质湿润锥形土;紫色土(16、17 号剖面)属斑纹紫色湿润锥形土。

关键词:湘中南;丘岗地区;发生特性;系统分类;祁阳;长沙

中图分类号: S158.3; S155.3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)06-0648-08

Genetic characteristics and taxonomy of soils in hilly regions of central-south Hunan province

LIU Jie^{1,2}, ZHANG Yang-zhu², LUO Zun-chang¹, ZENG Xi-bo³

(1.Institute of Soil and Fertilizer in Hunan Province, Changsha 410125, China; 2.College of Nature Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3.Institute of Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper deals mainly with soil-forming factors and characteristics of soil in hilly regions of central-south Hunan province through investigating eleven soil profiles. The results showed that the main soil texture was clay, which showed obvious leaching phenomenon and strong viscosity. The soil profiles were characterized by high degree of iron segregation and low activity of iron oxides, which were in the process of moderate iron-accumulation. According to the "Chinese Soil Taxonomy Index (the third edition)", diagnostic horizons and diagnostic characteristics were characterized and the attribution of these soil profiles in soil taxonomic classification was determined. Soil profiles 04, 22 and 23 belong to red soil in soil genetic classification and Typic Hiweatheri-Udic Ferrosols in soil taxonomy, soil profiles 07 and 13 belong to red soil in soil genetic classification and Plinthic-Hapli-Udic Ferrosols in soil taxonomy, soil profile 19 belongs to garden soil in soil genetic classification and Mottlic Fimi-Orthic Anthrosols in soil taxonomy, soil profile 20 belongs to purple soil in soil genetic classification and Dystric Purpli-Orthic Primosols in soil taxonomy, soil profile 21 belongs to Regosols in soil genetic classification and Typic Udi-Orthic Primosols in soil taxonomy, soil profile 01 belongs to limestone soil in soil genetic classification and Typic Carbonati-Udic Cambosols in soil taxonomy, and soil profiles 16 and 17 belong to purple soil in soil genetic classification and Mottlic Purpli-Udic Cambosols in soil taxonomy.

Key words: central-south Hunan province; hilly region; genetic characteristics; soil taxonomy; Qiyang; Changsha

土壤是历史自然体,具有其自身发生演变的规律。土壤分类是根据其发生特性进行科学区分^[1-4]。

由于自然环境条件的复杂性和成土因素影响的多 样化,湖南丘岗坡地红壤地区土壤发生过程和所形

收稿日期: 2012-08-29

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD05B05); 公益性行业(农业)科研专项(201003059)

作者简介: 刘杰(1980—),男,湖南湘潭人,博士, jiebaz@yahoo.com.cn; 通信作者, zhangyangzhu2006@163.com

成的土壤多种多样,土壤特性也有非常明显的差异。社会的进步和农业生产的发展,对土地利用的深度和精度有了更高的要求。笔者依照中国土壤系统分类体系,对湘中南丘岗地区主要成土母质发育的丘岗坡地土壤进行研究,旨在建立该区域的土壤系统分类,为该地区土地资源的宜耕宜种、改土培肥和可持续发展及环境保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 自然概况

研究区包括祁阳县和长沙县。祁阳县位于湖南省南部,是湖南省的产粮大县,地处东经 $110^{\circ}35' \sim 112^{\circ}14'$,北纬 $26^{\circ}02' \sim 26^{\circ}51'$,境内湘桂铁路、G322国道、5320省道和衡枣高速公路纵贯交织,总面积约 $2\,538\text{ km}^2$ 。长沙县位于湖南省东部偏北,湘江下游和长浏盆地西缘,东经 $111^{\circ}53' \sim 114^{\circ}15'$,北纬 $27^{\circ}51' \sim 28^{\circ}41'$ 。祁阳县调查区域位于文富市镇的官

山坪村、幸福桥村和坪阳甸村,海拔 $105 \sim 165\text{ m}$ 。长沙县调查区域位于湖南农业大学试验基地、星沙镇、春华镇、高桥镇和金井镇,海拔 $41 \sim 137\text{ m}$ 。整个调查区域平均气温 $17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均无霜期 275 d ,积温 $5\,457\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均日照时间 $1\,677\text{ h}$,热量条件比较优越,年降水量为 $1\,390\text{ mm}$,降雨集中在春、夏季,降水量年际变化较大。

1.2 土壤样品的采集与分析

在研究区域内,根据土壤母质分布情况挖掘剖面,分层观察与采集土壤,共采集11个剖面,用GPS记录其经、纬度坐标及高程,详细记录各剖面土层的土壤干湿、松紧、孔隙、新生体、侵入体等形态信息^[5-6]。土壤剖面成土环境见表1。所有样品经风干、研磨后,分别先后过孔径 2 、 0.149 mm 筛,用于土壤理化性状的测定。

表1 采样土壤剖面成土环境条件

Table 1 Environmental conditions for the soil profiles

| 剖面编号 | 采样点 | 海拔高度/m | 经度 | 纬度 | 母岩 | 地形位置 | 植被 |
|------|-----------|--------|------------------------|-----------------------|--------|---------|-----------|
| 01 | 祁阳文富市官山坪村 | 149 | $111^{\circ}52'88.0''$ | $26^{\circ}45'82.3''$ | 石灰岩 | 丘陵顶部 | 萝卜、柑橘 |
| 04 | 祁阳文富市官山坪村 | 134 | $111^{\circ}52'49.5''$ | $26^{\circ}45'51.4''$ | 石灰岩 | 丘陵坡岗地腰部 | 花生 |
| 07 | 祁阳文富市官山坪村 | 145 | $111^{\circ}52'35.1''$ | $26^{\circ}45'41.2''$ | 第四纪红土 | 丘陵岗地上坡 | 油茶林 |
| 13 | 祁阳文富市幸福桥村 | 165 | $111^{\circ}53'59.1''$ | $26^{\circ}45'25.7''$ | 板岩 | 丘陵上坡 | 马尾松、灌丛 |
| 16 | 祁阳文富市坪阳甸村 | 105 | $111^{\circ}50'18.6''$ | $26^{\circ}45'22.9''$ | 紫色砂页岩 | 丘陵坡腰 | 花生、向日葵、红茄 |
| 17 | 祁阳文富市坪阳甸村 | 106 | $111^{\circ}50'18.7''$ | $26^{\circ}45'23.0''$ | 紫色砂页岩 | 丘陵坡腰谷地 | 花生、向日葵、红茄 |
| 19 | 湖南农业大学 | 41 | $113^{\circ}04'00.7''$ | $28^{\circ}11'04.7''$ | 第四纪红土 | 河谷阶地 | 白菜 |
| 20 | 长沙市星沙镇 | 102 | $113^{\circ}05'56.1''$ | $28^{\circ}14'57.1''$ | 紫红色砂砾岩 | 丘陵上坡 | 无 |
| 21 | 长沙市春华镇九木村 | 104 | $113^{\circ}16'48.3''$ | $28^{\circ}20'23.0''$ | 板岩 | 丘陵上坡 | 无 |
| 22 | 长沙市高桥镇茶科所 | 103 | $113^{\circ}19'13.0''$ | $28^{\circ}26'51.8''$ | 第四纪红土 | 丘陵上坡 | 茶叶 |
| 23 | 长沙市金井镇 | 137 | $113^{\circ}19'13.0''$ | $28^{\circ}26'51.8''$ | 花岗岩 | 丘陵上坡 | 茶叶 |

1.3 测定指标及方法

根据红壤地区土壤资源的特点,选取土壤机械组成、粉砂粒/黏粒、黏化率、有机质含量、pH、阳离子交换量、全铁含量、游离氧化铁含量、非晶质氧化铁含量、络合铁含量、铁游离度、铁活化度、铁络合度、水合系数、全氮含量、全磷含量、全钾含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量等指标,按文献[7]的方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 土壤发生特性

2.1.1 剖面特征和颗粒组成

由表2可见,研究区土壤剖面发生层次分化较明显,一般都能划分出表土层(A)、心土层(B)和母质层(C)。各剖面土壤颜色以黄红为主,色调为 $2.5\text{YR}-10\text{YR}$,明度为 $3 \sim 6$,彩度为 $2 \sim 8$,但01

号剖面由于位于丘岗顶部,颜色偏暗,彩度只有1。研究区土壤质地以黏土为主,海拔较低的土壤样质地比较黏,表土层质地多偏壤性,随着剖面加深,质地黏度加大。从土壤颗粒组成看,一般表土层和

半风化母质层黏粒含量较心土层低,只有部分土壤表土层出现较高的黏粒含量。土壤中、下层黏化率较高,表明其土壤黏粒淋溶明显。

表2 研究区土壤的剖面特征和不同粒径颗粒的含量

Table 2 Profile characteristics and particle composition of the soils studied

| 编号 | 发生层 | 深度/cm | 结构 | 颜色 | 颗粒含量/(g·kg ⁻¹) | | | 质地 | 粉砂粒与黏粒的质量比/% | 黏化率 |
|------|-----|---------|-----|-----------|----------------------------|-----------------|----------|-------|--------------|------|
| | | | | | <0.002 mm | 0.002 ~ 0.02 mm | >0.02 mm | | | |
| 01-1 | A | 0~20 | 团粒状 | 5Y 6/1 | 597.6 | 358.5 | 43.9 | 壤质黏土 | 60 | |
| 01-2 | AB | 20~70 | 碎块状 | 5Y 4/1 | 659.9 | 330.0 | 10.1 | 壤质黏土 | 50 | 1.10 |
| 01-3 | BC | 70 | 小块状 | 5Y 7/1 | 521.1 | 363.8 | 115.0 | 壤质黏土 | 70 | 0.87 |
| 04-1 | A | 0~16 | 团粒状 | 10YR 5/8 | 489.7 | 369.8 | 140.5 | 壤质黏土 | 76 | |
| 04-2 | AB | 16~30 | 碎块状 | 10YR 4/3 | 417.8 | 358.1 | 224.1 | 壤质黏土 | 86 | 0.85 |
| 04-3 | B1 | 30~41 | 棱柱状 | 10YR 4/3 | 428.7 | 289.1 | 282.2 | 壤质黏土 | 67 | 0.88 |
| 04-4 | B2 | 41~69 | 柱状 | 10YR 4/3 | 498.0 | 149.4 | 352.6 | 壤质黏土 | 30 | 1.02 |
| 04-5 | C | 69 | 小块状 | 10YR 7/6 | 668.9 | 239.6 | 91.5 | 壤质黏土 | 36 | 1.37 |
| 07-1 | A | 0~21 | 团粒状 | 2.5YR 5/8 | 329.9 | 469.6 | 200.6 | 粉质黏土 | 142 | |
| 07-2 | AB | 21~47 | 碎块状 | 2.5YR 4/8 | 459.5 | 359.6 | 180.8 | 壤质黏土 | 78 | 1.39 |
| 07-3 | B1 | 47~93 | 棱柱状 | 2.5YR 3/6 | 549.4 | 249.7 | 200.9 | 壤质黏土 | 45 | 1.67 |
| 07-4 | B2 | 93 | 柱状 | 2.5YR 3/6 | 509.8 | 269.9 | 220.4 | 壤质黏土 | 53 | 1.55 |
| 13-1 | A1 | 0~6 | 团粒状 | 5YR 4/2 | 449.7 | 300.0 | 250.3 | 壤质黏土 | 67 | |
| 13-2 | A2 | 6~13 | 团粒状 | 5YR 5/8 | 449.6 | 239.8 | 310.6 | 壤质黏土 | 53 | 1.00 |
| 13-3 | AB | 13~58 | 碎块状 | 5YR 4/6 | 639.7 | 149.9 | 210.3 | 壤质黏土 | 23 | 1.42 |
| 13-4 | BC | 58~123 | 小块状 | 5YR 4/6 | 659.7 | 10.0 | 330.3 | 壤质黏土 | 2 | 1.47 |
| 13-5 | C | 123~174 | 小块状 | 5YR 5/8 | 560.5 | 100.0 | 330.5 | 壤质黏土 | 18 | 1.25 |
| 16-1 | A | 0~15 | 团粒状 | 2.5YR 5/8 | 389.7 | 409.7 | 200.6 | 壤质黏土 | 105 | |
| 16-2 | BC | 15~58 | 小块状 | 2.5YR 4/8 | 459.6 | 379.7 | 160.7 | 壤质黏土 | 83 | 1.18 |
| 16-3 | C | 58 | 小块状 | 2.5YR 3/6 | 380.0 | 350.0 | 270.0 | 壤质黏土 | 92 | 0.98 |
| 17-1 | A | 0~19 | 团粒状 | 2.5YR 4/8 | 369.9 | 439.9 | 190.2 | 壤质黏土 | 119 | |
| 17-2 | BC | 19~40 | 小块状 | 2.5YR 3/6 | 439.5 | 419.5 | 140.9 | 壤质黏土 | 95 | 1.19 |
| 17-3 | C | 40 | 小块状 | 2.5YR 3/6 | 419.9 | 409.9 | 170.3 | 壤质黏土 | 98 | 1.14 |
| 19-1 | A | 0~16 | 团粒状 | 10YR/3/4 | 170.2 | 189.6 | 640.2 | 粉质砂土 | 111 | |
| 19-2 | AB | 16~34 | 碎块状 | 10YR/4/3 | 237.9 | 297.3 | 464.8 | 砂质黏壤土 | 125 | 1.40 |
| 19-3 | B1 | 34~55 | 棱柱状 | 10YR/6/6 | 240.0 | 460.0 | 300.0 | 粉质黏壤土 | 192 | 1.41 |
| 19-4 | B2 | 55~88 | 柱状 | 10YR/5/6 | 289.7 | 369.7 | 340.6 | 壤质黏土 | 128 | 1.70 |
| 19-5 | BC | 88~120 | 小块状 | 7.5YR/5/6 | 280.0 | 530.0 | 190.1 | 粉质黏土 | 189 | 4.00 |
| 20-1 | A | 0~26 | 团粒状 | 2.5YR/4/8 | 249.8 | 299.7 | 450.5 | 砂质黏壤土 | 120 | |
| 20-2 | C1 | 26~76 | 块状 | 2.5YR/4/6 | 180.0 | 409.9 | 410.1 | 黏壤土 | 228 | 0.72 |
| 20-3 | C2 | 76 | 块状 | 2.5YR/5/4 | 100.0 | 389.8 | 510.2 | 砂土 | 390 | 0.40 |
| 21-1 | A | 0~18 | 团粒状 | 7.5YR/8/4 | 70.0 | 449.9 | 480.1 | 粉质砂土 | 643 | |
| 21-2 | AC | 18~40 | 小块状 | 7.5YR/6/6 | 299.1 | 510.7 | 190.2 | 粉质黏土 | 171 | 4.27 |
| 21-3 | C1 | 40~70 | 块状 | 7.5YR/7/8 | 280.0 | 530.0 | 190.1 | 粉质黏土 | 189 | 4.00 |
| 21-4 | C2 | 70~120 | 块状 | 7.5YR/8/6 | 270.0 | 520.0 | 210.0 | 粉质黏土 | 193 | 3.86 |
| 22-1 | A | 0~28 | 团粒状 | 7.5YR/5/8 | 249.8 | 379.7 | 370.4 | 壤质黏土 | 152 | |
| 22-2 | AB | 28~77 | 碎块状 | 5YR/5/6 | 399.9 | 329.9 | 270.2 | 壤质黏土 | 83 | 1.60 |
| 22-3 | B1 | 77~134 | 棱柱状 | 5YR/5/8 | 419.8 | 409.8 | 170.4 | 壤质黏土 | 98 | 1.68 |
| 22-4 | B2 | 134~200 | 柱状 | 7.5YR/6/6 | 429.8 | 329.8 | 240.4 | 壤质黏土 | 77 | 1.72 |
| 23-1 | A | 0~32 | 团粒状 | 5YR/4/8 | 349.8 | 439.7 | 210.5 | 壤质黏土 | 126 | |
| 23-2 | B | 32~52 | 柱状 | 5YR/5/8 | 349.7 | 139.9 | 510.4 | 砂质黏土 | 40 | 1.00 |
| 23-3 | BC1 | 52~88 | 小块状 | 5YR/5/8 | 350.5 | 139.7 | 509.8 | 砂质黏土 | 40 | 1.00 |
| 23-4 | BC2 | 88~130 | 小块状 | 5YR/4/8 | 350.3 | 139.6 | 510.1 | 砂质黏土 | 40 | 1.00 |
| 23-5 | C | 130 | 小块状 | 7.5YR/5/8 | 259.9 | 159.9 | 580.2 | 砂质黏土 | 62 | 0.74 |

2.1.2 土壤氧化铁的形态特征

土壤氧化铁作为成土母质风化的主要产物，其含量反映成土过程和成土环境。氧化铁的活性较强，

环境条件稍有变化就可对氧化铁的特征产生影响，因此，土壤氧化铁的形态转化及其特性的研究一直是土壤发生学的重要研究领域之一。由表3可见，

表3 供试土壤各形态氧化铁的含量

Table 3 Morphological characteristics of iron oxides in the soils studied

| 编号 | 发生层 | 全铁含量/ (g·kg ⁻¹) | 络合铁含量/ (g·kg ⁻¹) | 活性铁含量/ (g·kg ⁻¹) | 游离铁含量/ (g·kg ⁻¹) | 游离度/% | 活化度/% | 络合度/% | 水合系数 |
|------|-----|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|------|
| 01-1 | A | 52.0 | 0.03 | 1.51 | 20.0 | 38.5 | 7.6 | 0.16 | 0.01 |
| 01-2 | AB | 55.9 | 0.01 | 0.99 | 21.2 | 37.9 | 4.7 | 0.05 | 0.01 |
| 01-3 | BC | 39.5 | 0.02 | 0.63 | 12.8 | 32.5 | 4.9 | 0.14 | 0.01 |
| 04-1 | A | 47.1 | 0.06 | 4.39 | 30.0 | 63.6 | 14.6 | 0.21 | 0.01 |
| 04-2 | AB | 52.1 | 0.08 | 5.09 | 31.2 | 59.9 | 16.3 | 0.26 | 0.01 |
| 04-3 | B1 | 40.0 | 0.04 | 2.62 | 30.5 | 76.3 | 8.6 | 0.12 | 0.01 |
| 04-4 | B2 | 27.0 | 0.06 | 2.77 | 25.0 | 92.7 | 11.1 | 0.22 | 0.01 |
| 04-5 | C | 28.0 | 0.02 | 0.99 | 27.4 | 98.0 | 3.6 | 0.07 | 0.01 |
| 07-1 | A | 50.4 | 0.20 | 3.01 | 35.0 | 69.5 | 8.5 | 0.57 | 0.01 |
| 07-2 | AB | 62.0 | 0.03 | 3.71 | 28.7 | 46.3 | 12.9 | 0.09 | 0.01 |
| 07-3 | B1 | 60.5 | 0.04 | 3.80 | 43.5 | 71.9 | 8.7 | 0.10 | 0.01 |
| 07-4 | B2 | 64.1 | 0.01 | 3.49 | 41.9 | 65.3 | 8.3 | 0.01 | 0.01 |
| 13-1 | A1 | 47.4 | 0.46 | 2.78 | 36.3 | 76.6 | 7.6 | 1.28 | 0.01 |
| 13-2 | A2 | 49.8 | 0.48 | 4.39 | 37.8 | 76.0 | 11.6 | 1.27 | 0.01 |
| 13-3 | AB | 66.8 | 0.20 | 2.77 | 49.2 | 73.6 | 5.6 | 0.41 | 0.01 |
| 13-4 | BC | 77.4 | 0.07 | 5.38 | 49.8 | 64.3 | 10.8 | 0.14 | 0.01 |
| 13-5 | C | 70.3 | 0.03 | 5.32 | 56.0 | 79.7 | 9.4 | 0.05 | 0.01 |
| 16-1 | A | 54.5 | 0.19 | 1.56 | 22.3 | 40.9 | 7.0 | 0.83 | 0.01 |
| 16-2 | BC | 56.6 | 0.01 | 2.24 | 23.5 | 41.5 | 9.6 | 0.01 | 0.01 |
| 16-3 | C | 47.0 | 0.01 | 3.28 | 19.8 | 42.0 | 16.6 | 0.01 | 0.01 |
| 17-1 | A | 50.9 | 0.03 | 3.72 | 19.8 | 38.9 | 18.8 | 0.13 | 0.01 |
| 17-2 | BC | 54.9 | 0.01 | 4.81 | 23.6 | 43.0 | 20.3 | 0.04 | 0.01 |
| 17-3 | C | 45.6 | 0.01 | 4.54 | 24.6 | 54.0 | 18.4 | 0.01 | 0.01 |
| 19-1 | A | 49.0 | 0.71 | 4.46 | 21.1 | 43.0 | 21.2 | 3.37 | 0.03 |
| 19-2 | AB | 53.4 | 0.13 | 2.85 | 25.9 | 48.4 | 11.0 | 0.50 | 0.01 |
| 19-3 | B1 | 57.8 | 0.01 | 0.01 | 37.4 | 64.6 | 0.1 | 0.02 | 0.01 |
| 19-4 | B2 | 59.0 | 0.01 | 0.01 | 39.6 | 67.0 | 0.1 | 0.01 | 0.01 |
| 19-5 | BC | 66.2 | 0.04 | 0.01 | 37.7 | 57.0 | 0.1 | 0.10 | 0.01 |
| 20-1 | A | 76.5 | 0.01 | 0.88 | 59.5 | 77.7 | 1.4 | 0.01 | 0.01 |
| 20-2 | C1 | 66.8 | 0.01 | 0.76 | 55.8 | 83.5 | 1.3 | 0.01 | 0.01 |
| 20-3 | C2 | 67.7 | 0.02 | 0.01 | 53.9 | 79.7 | 0.1 | 0.03 | 0.01 |
| 21-1 | A | 79.8 | 0.04 | 0.01 | 56.6 | 70.9 | 0.1 | 0.06 | 0.01 |
| 21-2 | AC | 78.1 | 0.08 | 0.78 | 55.6 | 71.2 | 1.4 | 0.14 | 0.01 |
| 21-3 | C1 | 82.1 | 0.01 | 0.01 | 55.9 | 68.1 | 0.1 | 0.01 | 0.01 |
| 21-4 | C2 | 79.2 | 0.01 | 0.01 | 55.9 | 70.5 | 0.1 | 0.01 | 0.01 |
| 22-1 | A | 54.2 | 0.23 | 2.64 | 37.7 | 69.7 | 6.9 | 0.61 | 0.01 |
| 22-2 | AB | 53.5 | 0.03 | 3.53 | 38.3 | 71.6 | 9.2 | 0.09 | 0.01 |
| 22-3 | B1 | 55.0 | 0.01 | 2.89 | 38.0 | 69.1 | 7.6 | 0.03 | 0.01 |
| 22-4 | B2 | 60.3 | 0.01 | 2.20 | 41.1 | 68.2 | 5.4 | 0.01 | 0.01 |
| 23-1 | A | 49.5 | 0.05 | 1.18 | 32.8 | 66.2 | 3.6 | 0.16 | 0.01 |
| 23-2 | B | 56.9 | 0.02 | 1.48 | 36.9 | 64.9 | 4.0 | 0.05 | 0.01 |
| 23-3 | BC1 | 55.3 | 0.01 | 1.53 | 33.6 | 60.7 | 4.5 | 0.04 | 0.01 |
| 23-4 | BC2 | 48.1 | 0.02 | 1.42 | 31.8 | 66.1 | 4.5 | 0.07 | 0.01 |
| 23-5 | C | 46.0 | 0.01 | 1.00 | 25.1 | 54.5 | 3.9 | 0.02 | 0.01 |

各土壤剖面全铁含量为 27.0~82.1 g/kg, 21 号剖面全铁含量较高, 达 82.1 g/kg。除 20 号外, 各剖面都呈现出犁底层和淀积层全铁含量高于表层的特性, 说明氧化铁具有在淀积层富集的趋势。20、21 号剖面样无明显 B 层, 表层和母质过渡层全铁含量相差不大。供试土壤的游离铁含量为 12.8~59.5 g/kg, 铁游离度为 32.5%~98.0%, 活性铁的含量除少部分微量检出外, 其余为 0.63~5.38 g/kg, 铁活化度为 0.1%~21.2%。

游离度和活化度是反映土壤发育程度的 2 项重要指标, 游离度越高, 活化度越低, 说明土壤风化作用越强, 土壤发育度越好。由表 3 可见, 11 个供试土壤海拔均不高, 最高海拔仅 165.2 m, 各剖面均表现出游离度高、活化度低的特点, 土壤风化作用强, 处于脱硅富铝化阶段。在同一剖面内, 络合态铁的含量总是上层高于下层, 这是由于上层的有机质含量比下层高, 这样自然形成的络合态铁就多。

铁水合系数是土壤中无定形铁氧化物与黏粒含量的比值, 该值与富铝化程度呈负相关。由表 3 可见, 供试土壤铁水合系数均较小, 说明南方红壤地区土壤均有较强的脱硅富铝化作用, 与前述铁游离度高、活化度低所得出的土壤强风化作用的结论一致。

2.1.3 土壤养分含量

由表 4 可见, 湖南丘岗红壤地区土壤各剖面有机质含量呈现出上层高于下层的特点, 且风化作用和侵蚀作用以低海拔土壤较高海拔土壤强烈, 故低海拔土壤有机质含量偏低。供试土壤有机质积累较少, 腐殖质层不够明显, 可能与海拔低有关。13 号剖面有机质含量最高, 达 24.3 g/kg。由于母质不同, 01、04 号剖面土壤由石灰岩风化物母质发育而成, 土壤呈弱碱性; 16、17 号剖面土壤由紫色砂页岩风化物母质发育而成, 土壤也呈弱碱性; 其他土壤均呈酸性。

表 4 供试土壤的养分含量

Table 4 Fertility properties of the tested soils

| 编号 | 发生层 | 有机质含量/ (g·kg ⁻¹) | pH | 阳离子交换量/ (cmol·kg ⁻¹) | 全氮含量/ (g·kg ⁻¹) | 碱解氮含量/ (mg·kg ⁻¹) | 全磷含量/ (g·kg ⁻¹) | 有效磷含量/ (mg·kg ⁻¹) | 全钾含量/ (g·kg ⁻¹) | 速效钾含量/ (mg·kg ⁻¹) |
|------|-----|---------------------------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 01-1 | A | 24.1 | 7.7 | 6.8 | 0.48 | 33.1 | 0.63 | 3.3 | 30.7 | 177.5 |
| 01-2 | AB | 14.8 | 7.8 | 6.7 | 0.19 | 16.5 | 0.51 | 1.9 | 35.2 | 124.7 |
| 01-3 | BC | 4.7 | 8.0 | 12.6 | 0.12 | 1.8 | 0.54 | 1.6 | 35.1 | 68.5 |
| 04-1 | A | 17.1 | 7.7 | 14.2 | 0.25 | 33.7 | 0.78 | 12.2 | 20.6 | 136.3 |
| 04-2 | AB | 19.6 | 7.8 | 15.4 | 0.30 | 33.1 | 0.82 | 12.1 | 17.4 | 136.3 |
| 04-3 | B1 | 7.7 | 7.8 | 13.6 | 0.15 | 12.4 | 0.62 | 8.5 | 17.6 | 120.2 |
| 04-4 | B2 | 6.3 | 7.6 | 13.6 | 0.13 | 26.6 | 0.35 | 3.5 | 17.7 | 84.6 |
| 04-5 | C | 3.1 | 7.4 | 17.6 | 0.13 | 3.0 | 0.38 | 1.7 | 28.5 | 85.3 |
| 07-1 | A | 20.0 | 4.7 | 17.3 | 0.38 | 53.7 | 0.41 | 2.5 | 15.6 | 82.4 |
| 07-2 | AB | 5.0 | 4.6 | 20.4 | 0.14 | 5.9 | 0.41 | 2.2 | 18.6 | 80.2 |
| 07-3 | B1 | 3.6 | 4.7 | 18.1 | 0.13 | 8.9 | 0.43 | 3.2 | 17.7 | 77.6 |
| 07-4 | B2 | 3.8 | 4.7 | 19.2 | 0.14 | 6.5 | 0.34 | 4.4 | 17.3 | 64.5 |
| 13-1 | A1 | 24.3 | 4.0 | 16.6 | 0.48 | 164.3 | 0.78 | 2.7 | 25.5 | 240.7 |
| 13-2 | A2 | 21.0 | 3.8 | 13.5 | 0.42 | 50.3 | 0.66 | 2.3 | 24.6 | 87.6 |
| 13-3 | AB | 8.3 | 3.9 | 17.4 | 0.16 | 12.4 | 0.74 | 1.4 | 37.3 | 83.4 |
| 13-4 | BC | 4.7 | 4.2 | 12.4 | 0.13 | 1.2 | 0.98 | 3.5 | 35.7 | 62.1 |
| 13-5 | C | 2.3 | 4.2 | 14.6 | 0.09 | 0.1 | 0.97 | 4.8 | 37.5 | 70.2 |
| 16-1 | A | 22.7 | 6.6 | 13.2 | 0.46 | 73.8 | 0.80 | 12.6 | 26.6 | 114.6 |
| 16-2 | BC | 7.1 | 7.6 | 12.2 | 0.16 | 8.3 | 0.44 | 7.7 | 24.9 | 83.0 |
| 16-3 | C | 4.8 | 7.5 | 11.2 | 0.11 | 3.0 | 0.36 | 10.6 | 21.8 | 74.6 |
| 17-1 | A | 23.8 | 7.7 | 13.1 | 0.47 | 73.9 | 0.60 | 10.4 | 22.3 | 80.7 |

续表

| 编号 | 发生层 | 有机质含量/ (g·kg ⁻¹) | pH | 阳离子交换量/ (cmol·kg ⁻¹) | 全氮含量/ (g·kg ⁻¹) | 碱解氮含量/ (mg·kg ⁻¹) | 全磷含量/ (g·kg ⁻¹) | 有效磷含量/ (mg·kg ⁻¹) | 全钾含量/ (g·kg ⁻¹) | 速效钾含量/ (mg·kg ⁻¹) |
|------|-----|---------------------------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 17-2 | BC | 16.4 | 7.9 | 12.7 | 0.24 | 37.2 | 0.44 | 3.8 | 22.7 | 72.5 |
| 17-3 | C | 5.6 | 7.7 | 11.3 | 0.14 | 11.8 | 0.41 | 12.5 | 21.3 | 77.3 |
| 19-1 | A | 19.7 | 4.9 | 10.2 | 0.30 | 73.1 | 0.94 | 36.8 | 19.0 | 137.8 |
| 19-2 | AB | 15.6 | 5.3 | 11.5 | 0.21 | 38.9 | 0.53 | 35.3 | 19.5 | 45.8 |
| 19-3 | B1 | 6.0 | 5.9 | 15.6 | 0.14 | 10.1 | 0.47 | 6.7 | 20.8 | 51.7 |
| 19-4 | B2 | 3.7 | 6.0 | 12.4 | 0.12 | 9.4 | 0.45 | 6.0 | 21.8 | 51.4 |
| 19-5 | BC | 2.0 | 6.1 | 12.7 | 0.11 | 1.8 | 0.34 | 4.0 | 21.9 | 33.2 |
| 20-1 | A | 2.8 | 4.0 | 8.9 | 0.13 | 14.2 | 0.26 | 1.4 | 20.3 | 48.4 |
| 20-2 | C1 | 0.7 | 4.2 | 4.7 | 0.09 | 1.8 | 0.24 | 1.5 | 20.4 | 20.1 |
| 20-3 | C2 | 0.9 | 4.4 | 4.6 | 0.09 | 0.1 | 0.26 | 2.2 | 20.9 | 22.7 |
| 21-1 | A | 9.0 | 4.2 | 11.2 | 0.13 | 21.8 | 0.26 | 4.7 | 32.0 | 56.0 |
| 21-2 | AC | 7.6 | 4.0 | 8.4 | 0.13 | 12.4 | 0.24 | 2.3 | 29.6 | 45.7 |
| 21-3 | C1 | 2.8 | 4.3 | 8.7 | 0.10 | 3.6 | 0.13 | 2.0 | 32.1 | 30.5 |
| 21-4 | C2 | 0.5 | 4.5 | 7.9 | 0.05 | 1.8 | 0.11 | 1.6 | 32.2 | 40.5 |
| 22-1 | A | 13.0 | 4.2 | 15.9 | 0.23 | 45.4 | 0.19 | 4.6 | 34.0 | 46.4 |
| 22-2 | AB | 5.1 | 4.2 | 9.3 | 0.17 | 17.7 | 0.36 | 2.9 | 15.8 | 51.8 |
| 22-3 | B1 | 1.9 | 4.1 | 7.4 | 0.13 | 13.6 | 0.25 | 2.6 | 16.8 | 38.7 |
| 22-4 | B2 | 2.3 | 3.9 | 7.5 | 0.12 | 11.8 | 0.23 | 2.6 | 17.8 | 23.1 |
| 23-1 | A | 22.1 | 4.2 | 8.0 | 0.43 | 30.2 | 0.25 | 2.1 | 34.2 | 64.1 |
| 23-2 | B | 6.0 | 4.3 | 8.4 | 0.09 | 3.0 | 0.24 | 1.4 | 34.9 | 90.4 |
| 23-3 | BC1 | 5.1 | 4.7 | 11.6 | 0.08 | 7.7 | 0.25 | 1.4 | 37.4 | 87.6 |
| 23-4 | BC2 | 4.0 | 4.4 | 8.2 | 0.06 | 1.2 | 0.24 | 1.6 | 37.3 | 77.1 |
| 23-5 | C | 2.3 | 5.1 | 11.4 | 0.05 | 0.6 | 0.28 | 1.5 | 37.2 | 73.9 |

土壤阳离子交换量是土壤吸附和交换的阳离子容量，其大小与土壤胶体种类和含量有关^[8-9]，因此，取决于土壤矿物种类、有机质含量等基本性质。该区供试土壤阳离子交换量普遍偏低，为4.6~20.4 cmol/kg。

全量养分和速效养分含量是土壤肥力的重要指标。供试土壤剖面全氮含量为0.05~0.48 g/kg，除13号剖面碱解氮含量达164.3 mg/kg外，其余剖面碱解氮含量为1.8~73.9 mg/kg；全磷含量为0.11~0.98 g/kg，有效磷含量大多为1.4~12.6 mg/kg，仅19号剖面表层土壤有效磷含量稍高，为36.8 mg/kg，说明该区土壤磷素含量偏低，能供给

作物营养需求的有效性磷素严重缺乏，应重视磷肥的补充，还要加强水旱轮作等管理，提高有效性磷素含量；全钾含量为15.6~37.5 g/kg，速效钾含量为20.1~240.7 mg/kg，剖面表层速效钾含量多高于下层，20、21号剖面速效钾含量偏低，可能与发育时间较短有关。

2.2 土壤系统分类

中国土壤系统分类是以诊断层和诊断特性为基础，以定量化为特点，且与国际接轨的土壤分类方案^[10]。按中国土壤系统分类的鉴别指标，研究区土壤剖面所具有的诊断层和诊断特性如表5所示。

表5 供试土壤剖面的诊断层和诊断特性

Table 5 Diagnostic horizons and diagnostic characteristics of soil profiles

| 剖面编号 | 暗瘠表层 | 淡薄表层 | 肥熟表层 | 低活性富铁层 | 雏形层 | 聚铁网纹层 | 水分状况 | 温度状况 | 石质接触面 | 铁质特性 | 盐基饱和度 | 岩性特征 |
|------|------|------|------|--------|-----|-------|------|------|-------|------|-------|------|
| 1 | √ | | | | √ | | 湿润 | 热性 | | | 贫盐基 | √ |
| 04 | √ | | | √ | | | 湿润 | 热性 | | √ | 贫盐基 | |
| 07 | | √ | | √ | | √ | 湿润 | 热性 | | √ | 贫盐基 | |

续表

| 剖面 编号 | 暗瘠 表层 | 淡薄 表层 | 肥熟 表层 | 低活性 富铁层 | 雏形 层 | 聚铁网 纹层 | 水分 状况 | 温度 状况 | 石质接 触面 | 铁质 特性 | 盐基饱 和度 | 岩性 特征 |
|----------|----------|----------|----------|------------|---------|-----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 13 | √ | | | √ | | √ | 湿润 | 热性 | | √ | 贫盐基 | |
| 16 | | √ | | | √ | | 湿润 | 热性 | | | 贫盐基 | √ |
| 17 | | √ | | | √ | | 湿润 | 热性 | | | 贫盐基 | √ |
| 19 | √ | | √ | | | | 湿润 | 热性 | | | 贫盐基 | |
| 20 | | √ | | | | | 湿润 | 热性 | √ | | 贫盐基 | √ |
| 21 | | √ | | | | | 湿润 | 热性 | √ | | 贫盐基 | |
| 22 | | √ | | √ | | | 湿润 | 热性 | | √ | 贫盐基 | |
| 23 | | √ | | √ | | | 湿润 | 热性 | | √ | 贫盐基 | |

2.2.1 诊断表层

根据表土层腐殖质积累程度的不同,土壤表层可分为暗沃表层、暗瘠表层和淡薄表层,包括A层及由A层向B层过渡的AB层。暗沃表层和暗瘠表层均为有机碳含量高或较高、盐基分别为饱和和不饱和的暗色腐殖质表层。01、04、13、19号剖面表层有机碳含量 $>6\text{ g/kg}$,土壤颜色偏暗,明度 <5.5 ,彩度 <3.5 ,且属贫盐基、不饱和状态,具有暗瘠表层。淡薄表层为发育程度较差的淡色或较薄的腐殖质表层,07、16、17、20、21、22、23号剖面具有此类表层。人类长期耕作施肥等会导致土壤形成特定的诊断表层——肥熟表层。长期种植蔬菜的高度熟化菜园土壤19号剖面有效磷含量 $>35\text{ mg/kg}$,具有肥熟表层。

2.2.2 诊断表下层

物质淋溶、迁移、淀积或就地富集作用于土壤表层以下,形成诊断表下层。诊断表下层包括发生层中的B层和E层。经检索,研究区土壤的诊断表下层如下。

1) 耕作淀积表下层。旱地土壤中受耕作影响而形成的一种淀积层,其厚度 10 cm 。在酸性土壤中,此层pH值和盐基饱和度高于未受耕作淋淀影响的下垫土层。19号剖面具有耕作淀积表下层。

2) 低活性富铁层。中度富铁铝化作用形成的具低活性黏粒和富含游离铁的土层,其厚度 $>30\text{ cm}$,细土DCB浸提游离铁含量 14 g/kg (游离氧化铁含量 20 g/kg)或游离铁占全铁的 40% , $\text{CEC}_7<24\text{ cmol/kg}$ 。04、07、13、22、23号剖面具有低活性富铁层。

3) 雏形层。风化-成土过程中形成的无或基本无物质淀积,未发生明显黏化的带棕、红棕、红、黄或紫等颜色,且有土壤结构发育的B层。01、16、17号剖面具有雏形层。另外,20、21号剖面未见发育的B层,应该属于新成土类型。

4) 聚铁网纹表下层。由铁、黏粒与石英等混合并分凝成多角状或网状红色或暗红色的富铁、贫腐殖质聚铁网纹体组成的土层,且有聚铁网纹现象,厚度约 $5\sim 15\text{ cm}$ 。07、13号剖面B层红色网纹体积约占 20% ,具有聚铁网纹表下层。

2.2.3 诊断特性

1) 水分状况。研究区土壤剖面海拔均低于 $1\ 000\text{ m}$,夏季降雨多,属湿润气候地区,土壤贮水量加降水量均等于或超过蒸发量,大多数年份水分可下渗通过整个土壤,属湿润土壤水分状况。

2) 温度状况。温度指土表下 50 cm 处或浅于 50 cm 的石质和准石质接触面处的土壤温度。根据祁阳县和长沙县两地的气象资料,由土壤及气温关系可推断海拔小于 $1\ 000\text{ m}$ 的土壤温度状况为“热性”,所以,研究区土壤均为热性土壤。

3) 石质接触面。石质接触面为土壤与紧实黏结的下垫物质(岩石)之间的界面层,不能用铁铲挖开,下垫物质为整块状。20、21号剖面分别在向下 26 cm 、 40 cm 处土壤与紧实黏结的下垫物质(岩石)接触,不能用铁铲挖出,具有石质接触面。

4) 铁质特性。铁质特性是指由土壤中游离氧化铁非晶质部分的浸润和赤铁矿、针铁矿微晶的形成而使土壤红化的特性。研究区土壤剖面淀积层颜色普遍较红,04、07、13、22、23号剖面铁的游离度 40% 或 Fe_2O_3 含量 $>14\text{ g/kg}$,具有铁质特性。

5) 盐基饱和度。研究区所有剖面土壤阳离子交换量均不高,铁锰结核较多,盐基饱和度相对较小,属贫盐基。

6) 岩性特征。岩性特征是指土表至 125 cm 范围内土壤性状明显或较明显保留母岩或母质的岩石学性质特征。16、17、20 号剖面土壤母质为紫色砂页岩风化物,未见或有微弱发育的淀积层,固结性不强,极易遭受物理风化,风化碎屑物直径均小于 4 cm,具有紫色砂页岩岩性特征。01 号剖面土壤母质为石灰岩风化物,具有微弱发育的土壤 B 层,因此具有石灰岩岩性特征。

2.2.4 土壤类型的归属

根据上述诊断层和诊断特性(表 5),按照文献[11]进行检索命名。由表 6 可知,04、22、23 号剖面土壤属普通强育湿润富铁土;07、13 号剖面土壤属网纹筒育湿润富铁土;19 号剖面土壤属斑纹肥熟旱耕人为土;20 号剖面属酸性紫色正常新成土;21 号剖面属普通湿润正常新成土;01 号剖面属普通钙质湿润锥形土;16、17 号剖面属斑纹紫色湿润锥形土。

表 6 供试土壤剖面在中国土壤系统分类中的归属

Table 6 Attributions of the soil profiles in the Chinese soil taxonomy

| 土纲 | 亚类 | 剖面编号 | 发生分类名称 |
|-----|-----------|----------|--------|
| 富铁土 | 普通强育湿润富铁土 | 04、22、23 | 红壤 |
| 富铁土 | 网纹筒育湿润富铁土 | 07、13 | 红壤 |
| 人为土 | 斑纹肥熟旱耕人为土 | 19 | 菜园土 |
| 新成土 | 酸性紫色正常新成土 | 20 | 紫色土 |
| 新成土 | 普通湿润正常新成土 | 21 | 粗骨土 |
| 锥形土 | 普通钙质湿润锥形土 | 01 | 石灰土 |
| 锥形土 | 斑纹紫色湿润锥形土 | 16、17 | 紫色土 |

3 结 论

a. 研究区土壤质地以黏土为主,海拔较低的土壤质地更黏,表土层质地多偏壤性,随着剖面加深,黏度越大。从土壤颗粒组成看,表土层黏粒含量较心土层低,土壤中下层黏化率较高,表明其土壤黏粒向下淋溶明显,黏化作用较强。

b. 研究区土壤的海拔均较低,土壤风化作用和侵蚀作用均较高海拔土壤强烈,有机质积累较少,腐殖质层不明显,土壤阳离子交换量不高。各剖面

均表现出铁游离度高、活化度低的特点,铁水合系数较小,土壤风化作用强烈,处于脱硅富铝化阶段。

c. 参考研究区土壤的发生条件和发生特性,按照中国土壤系统分类方案,研究区 04、22、23 号剖面属普通强育湿润富铁土;07、13 号剖面属网纹筒育湿润富铁土;19 号剖面属斑纹肥熟旱耕人为土;20 号剖面属酸性紫色正常新成土;21 号剖面属普通湿润正常新成土;01 号剖面属普通钙质湿润锥形土;16、17 号剖面属斑纹紫色湿润锥形土。

参考文献:

- [1] 陈志诚, 赵文君, 龚子同, 等. 海南岛土壤发生分类类型在系统分类中的归属[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 170-177.
- [2] 莫治新, 柳维扬, 伍维模. 新疆阿拉尔垦区土壤发生特性及系统分类研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 40-43.
- [3] 张保华, 何毓蓉. 中国土壤系统分类及其应用研究进展[J]. 山东农业科学, 2005(4): 76-78.
- [4] 张伟娟, 辛刚. 中国土壤系统分类及在大庆市的应用研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2009, 21(1): 12-14.
- [5] 陈松林, 陈健飞. 中国土壤系统分类在福建漳浦样区的应用[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2008, 24(2): 92-99.
- [6] 杜国华, 张甘霖, 龚子同. 长江三角洲水稻土主要土种在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤, 2007, 39(5): 684-691.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [8] 冯跃华, 张杨珠, 邹应斌, 等. 井冈山土壤发生特性与系统分类研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 720-729.
- [9] 顾也萍, 刘必融, 汪根法, 等. 皖南山地土壤系统分类研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 10-21.
- [10] 关欣, 李巧云, 张凤荣. 新疆平原土壤发生分类与系统分类的参比[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2011, 37(3): 312-317.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索[M]. 3 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 罗 维