

我国热带亚热带东部富铁铝化
土壤特性与系统分类陈志成 龚子同
赵文君 张桃林

B. Volkoff

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

(ORSTOM)

摘 要

本文对我国热带、亚热带东部三个代表性断面 70 个剖面富铁铝化土壤的某些特性作了研讨,并根据反映成土作用的诊断层和/或诊断特性的差异进行系统分类,将所研究的土壤归属于 4 个土纲(即铁铝土、富铁土、淋溶土及锥形土),及其相应的亚纲、土类和亚类。

关键词 富铁铝化土壤特性,系统分类

一、引 言

我国热带、亚热带地区广泛分布着富铁铝化土壤。据前人统计,其面积约为 140 余万 KM^2 ,占全国土壤总面积的 15% 左右^[13]。充分合理利用这些土壤资源,显然对我国热带、亚热带农林业生产的持续发展具有十分重要的意义。

在本文中所谓富铁铝化土壤是指经历着不同程度富铁铝化作用的一系列红、黄色土壤。前人根据其富铁铝化作用发展阶段和地带性分布规律,把热带、南亚热带、中亚热带及其山地的富铁铝化土壤相应地划分为砖红壤和燥红土,赤红壤(砖红壤性红壤)、红壤及黄壤诸土类^[1]。从 70 年代后,世界上土壤分类已发展为以诊断层和/或诊断特性为根据的、定量检索阶段^[2,9,12,14]。由于我国过去的土壤分类重视其各个土壤类型的中心概念,对它们相互之间在性质上的边界并没有作十分明确限定,致使上述所划分的诸土类难与当前世界上通行的土壤系统分类中的有关类型进行互相转换与沟通,更无法采用电子计算机进行定量检索分类或建立土壤分类信息系统。有鉴于此,我国一些研究者参照国际先进经验,结合国内实际情况,开展我国土壤系统分类的研究,并于 1991 年提出了中国土壤系统分类首次方案^[3,5]。为了使我国土壤系统分类更趋完善,本文对我国热带、亚热带东部某些代表性断面中富铁铝化土壤特性和系统分类进行研讨。

• 本文属于由中国科学院、国家自然科学基金委和欧共体三方面资助项目的部分工作结果,参加部分野外工作的尚有张甘霖、骆国保及何园球同志。



二、材料与方法

本研究选择海南、广东及江西三个土壤断面分别代表原分类中的热带砖红壤、南亚热带赤红壤和中亚热带红壤三个土壤地带。三个断面的地理位置如图1所示。各个断面的自然地理特征简介如下：

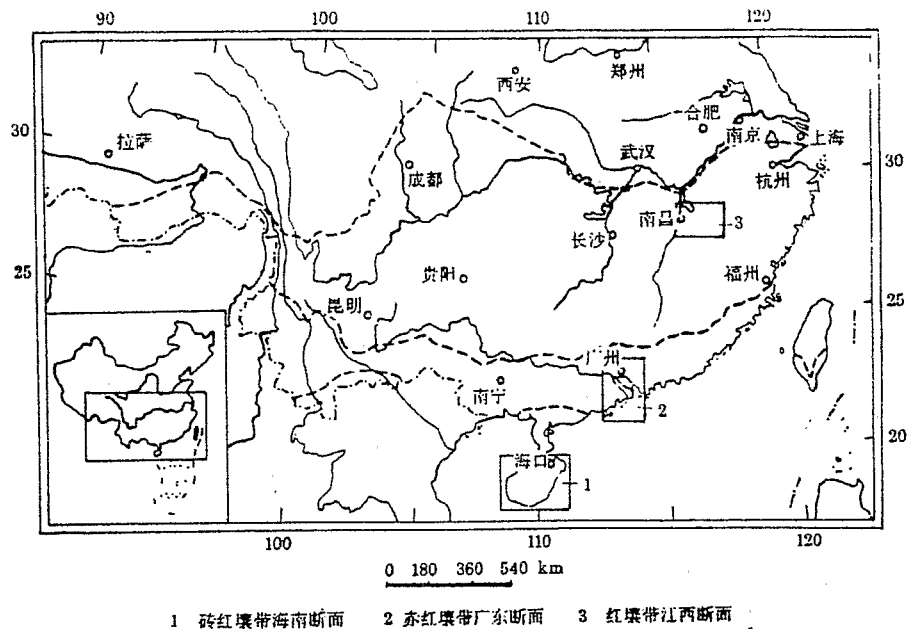


图1 三个土壤断面地理位置图

Fig. 1 The map showing the location of three soil transects

海南断面包括海南岛全部，自北至南，长约200km，中部和南部为花岗岩、火山岩及变质岩构成的中、低山和丘陵地形，五指山顶峰海拔高达1800余m，北部及东北部为玄武岩低丘台地和浅海沉积物老阶地，海拔高度前者多不超过250m，后者更低，仅50m左右。据7个气象站资料统计，该断面范围内年平均气温22.4—25.5℃，冬季平均气温17.2—21.6℃，年降水量993—2447mm，每年中5至10月为湿季，降水量占全年的76.4—91.7%。自然植被为热带雨林和热带季雨林，后者包括山地雨林、山地常绿阔叶林及山顶矮林。

广东断面作东北—西南向，纵贯翁源、新丰、从化、广州、南海、三水一线，全长约200km，广州向东北去的地段为花岗岩、变质岩和沉积岩构成了中、低山和丘陵地形，属南岭山脉的南侧延伸，山峰海拔高达1300m左右，广州向西南去的地段为珠江三角洲冲积平原，间有红砂页岩低丘陵，海拔高度在100m以下。据该断面范围内11个气象站资料统计，年平均气温18.0—22.7℃，冬季平均气温11.2—14.3℃，年降水量1512—2454mm，每年中4至9月为湿季，降水量占全年的77.4—83.8%。自然植被丘陵上为亚热带季雨林，山地上为亚热带常绿阔叶林。

江西断面从武夷山顶部向下，作西偏北方向，横穿鹰潭、东乡、进贤、至鄱阳湖畔，全长约230km。武夷山山体上部为流纹岩构成的中山地形，其顶峰黄岗山海拔高达2000余m，山体中、下部为花岗岩构成的低山、丘陵地形。断面的中间地段为硅质砂页岩、红砂页岩及砾岩构成的丘陵地，海拔高度不超过

500m, 西部地段则为第四纪红色粘土, 间有花岗岩和变质岩的低丘陵地, 海拔高度在100m以下。据该断面范围内9个气象站资料统计, 年平均气温12.0—18.2℃, 冬季平均气温3.0—7.2℃, 年降水量1596—2206mm, 每年中3至8月为湿季, 降水量占全年的71.3—75.9%。自然植被丘陵上为亚热带常绿阔叶林, 山地上为常绿落叶混交林、落叶阔叶林及山地草甸。

本研究通过野外调查, 选择不同地形, 母质的土壤剖面作形态特征观察, 并分层采样, 进行实验室分析测定。三个断面共观察采样70个剖面。实验室分析测定项目和方法简介如下: 颗粒组成用吸管法; 土壤pH值用玻璃-甘汞电极电位法; 阳离子交换量用醋酸铵(pH7.0)法, 交换性盐基在醋酸铵(pH7.0)浸提后, 钙、镁用原子吸收光谱法, 钾、钠用火焰光度计法, 交换性氢和铝用氯化钾浸提滴定法; 有机碳用重铬酸钾法^[4]; 三酸(盐酸-硝酸-硫酸)消化性硅、铝、铁用分光光度计法; 全钾用氢氟酸-高氯酸消化、火焰光度计法; DCB浸提性氧化铁和热碱(0.5mol/L氢氧化钠)浸提性硅和铝分别用分光光度计法^[5]。此外, 部分标本作了矿物鉴定。

三、结果与讨论

(一) 土壤特性

1. 形态特征

所观察的70个剖面除少数受侵蚀影响外, 均具有A、B、C发生层次。除山地外, 土层厚度多超过100cm以上。处在丘陵坡地上的剖面除受滞水影响外, B层颜色多呈5YR或更红的色调; 但向山地过渡地段, B层上部的颜色转为7.5YR, 山地上则全剖面均呈7.5YR或更黄的色调。B层均具有不同发育程度的块状结构, 少数尚见有因氧化铁、铝胶结的假粉砂粒结构, 或大块状结构。有些剖面在结构面或孔隙壁上可见有明显的粘膜或腐殖质胶膜。少数剖面受滞水影响, 其下部呈氧化还原斑纹, 或呈7.5YR或更黄的色调。另有少数剖面因雨季渗水不均, 引起其下部土层内氧化铁离析分异, 形成类似于聚铁网纹体的网纹层。

2. 土壤水分状况

根据三个断面范围内有关气象站资料, 按怕曼(Penman)公式计算的干燥度和按桑斯维德(Thorntwaite)公式计算蒸散量并进一步估算的土壤水分月收支平衡^[7], 以及野外实地的生态环境表明所观察的土壤剖面具有半干润、常湿润和湿润三种不同的土壤水分状况。如图2所示。半干润土壤水分状况相当于年干燥度在1—3.5之间, 一年中土壤水分月收支平衡呈亏缺的月份 ≥ 4 , 但年降水量 ≥ 400 mm; 常湿润土壤水分状况相当于年干燥度 < 1 , 且几乎每个月的干燥度均 < 1 , 一年中土壤水分月收支平衡呈盈余的月份 ≥ 10 ; 湿润土壤水分状况相当于年干燥度 < 1 , 一年中土壤水分月收支平衡呈盈余的月份 < 10 , 或呈亏缺的月份 < 4 。

· 1) 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 1991, 土壤实验室分析项目及方法规范(中国土壤系统分类用), (资料)

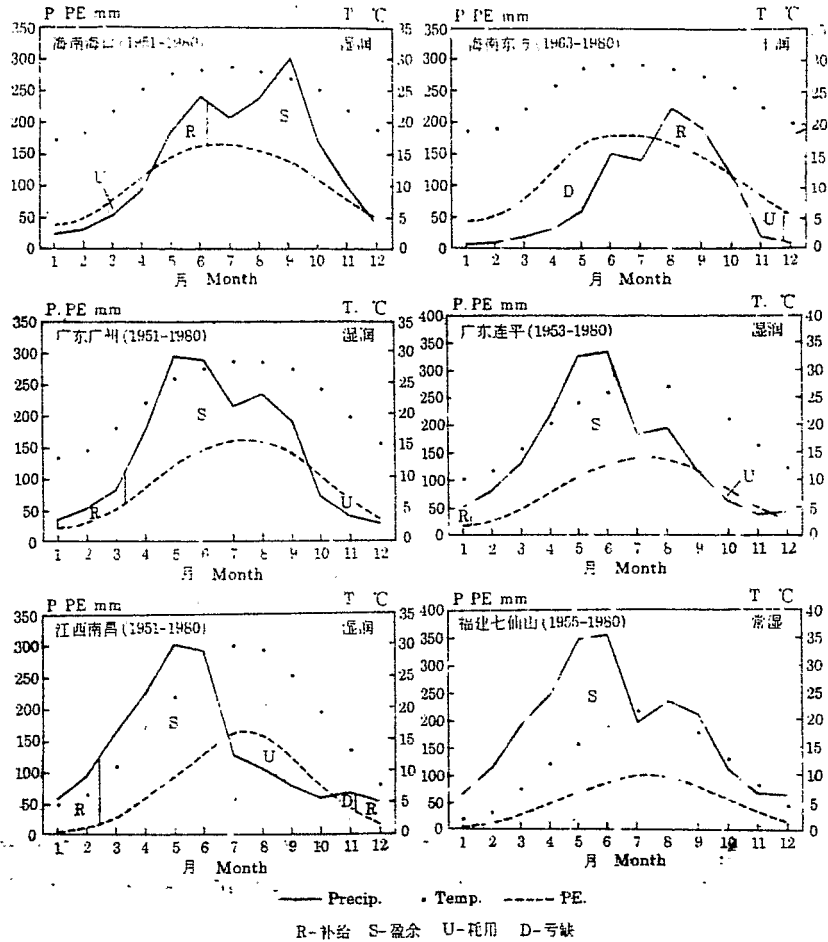


图2 气候数据和土壤水分平衡
Fig. 2 Climatic data and soil water balance

3. 颗粒组成

(1) 粘粒 ($<2\mu\text{m}$) 含量及细粉粒/粘粒比: 如图3所示, 所研究的土壤B层的粘粒含量及细粉粒/粘粒比均有很大差异, 这是因其母岩、母质、地形及风化程度不同所致。比较海南、广东、江西三个断面的丘陵地上土壤, 其B层细粉粒/粘粒比有依次增大的趋势; 山地土壤B层细粉粒/粘粒比又比丘陵的有增大趋势; 虽然如此, 但对于同一断面内的土壤或均为山地的土壤, 其细粉粒/粘粒比仍然颇不一致。

(2) 粘粒含量剖面分布: 在某些无岩性不连续的土壤剖面中可见有明显的粘粒含量增大层次, 如图4所示, 表明这些土壤发生有明显的粘粒累积作用。

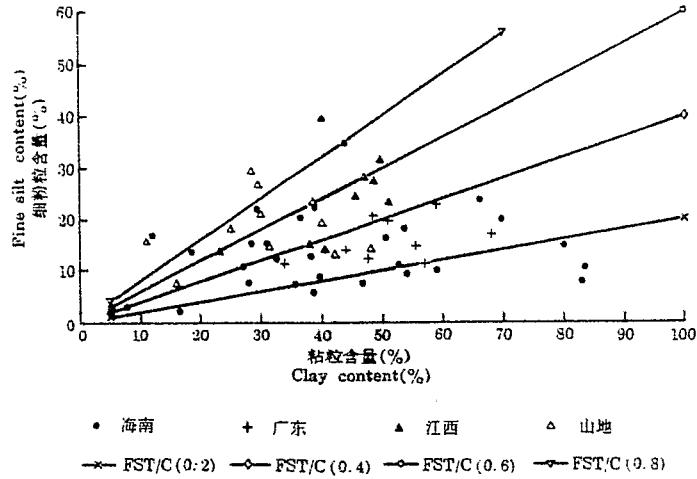


图3 粘粒和细粉粒含量(B层)

Fig. 3 Clay and fine silt contents (B horizon)

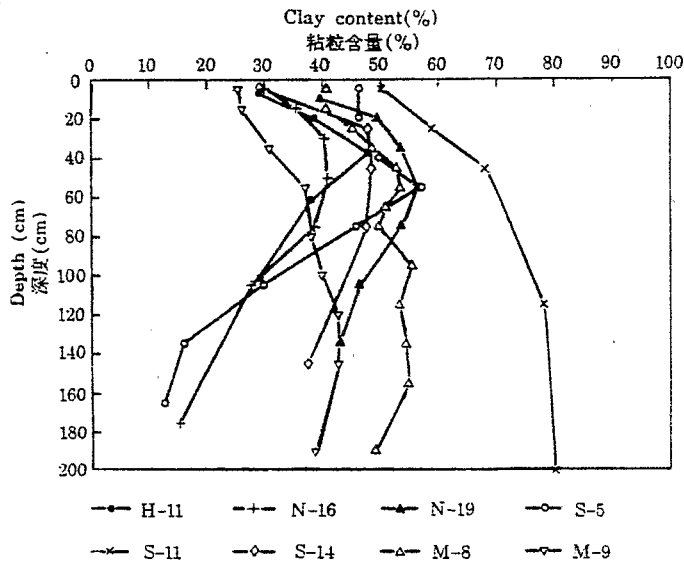


图4 粘粒含量剖面分布

Fig. 4 Profile distribution of clay contents

4. 化学特性

(1) pH、盐基饱和度及铝饱和度：所测定的总数中有 90% 的剖面，其 B 层的 $pH_{(H_2O)}$ 和 $pH_{(KCl)}$ 分别在 4.0—5.5 和 3.0—4.5 之间。 $\Delta pH (pH_{(H_2O)} - pH_{(KCl)})$ 小于 +0.5 的仅占总数的 3.4%，显然表明，极强度富铁铝化的土壤为数尚少。交换性盐基饱和度大多数小于 35%；但有少数因受母岩母质的影响，尚可超过 50%，甚至高达 90% 以上。铝饱和度大多数在 50—90% 之间，约占测定总数的 75%。除石灰岩上的剖面外，不论是盐基饱和度或铝饱和度增大， $pH_{(H_2O)}$ 和 $pH_{(KCl)}$ 均无明显的相应升高或降低，如图 5 所示。

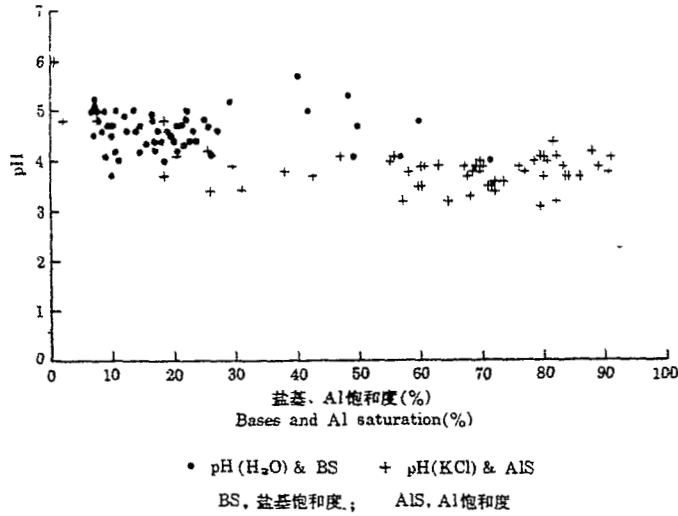


图5 pH与盐基、铝饱和度(B层)

Fig. 5 pH and bases-, Al-saturation (B horizon)

(2)有机质含量:所研究的剖面有机质含量因植被及人类活动不同而变异。如图6所示,表层(0—20cm)有机碳含量(加权平均值)和1m深土层有机碳储量分别变化在2.1—65.2g/kg和1.5—30.6kg/m²之间。三个断面间无明显差别。同时可见,若表层(0—20cm)有机碳含量(加权平均值)大于20g/kg,则其1m深土层有机碳储量多在12kg/m²以上。山地上有机质含量有比丘陵地上更大的趋势,如图所示,山地上大多数剖面其表层有机碳含量和1m深土层有机碳储量分别在20g/kg和12kg/m²以上,丘陵地上多数剖面在20g/kg和12kg/m²以下;但不论是山地或丘陵地上均尚有少数剖面其表层有机碳含量和1m深土层有机碳储量分别小于或大于上述界限。

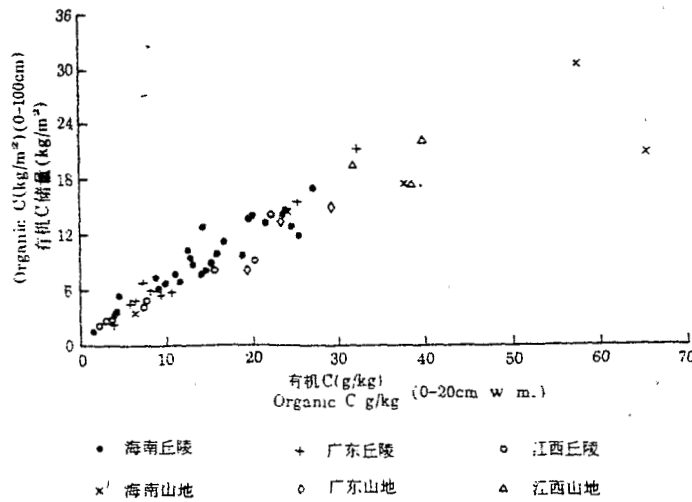


图6 有机质含量和贮量

Fig. 6 Organic matter contents and storage

(3)游离氧化铁含量:如图7所示,在同一断面内B层细土DCB浸提性 Fe_2O_3 含量因母岩、母质不同而差异非常显著,如海南断面内最高的在玄武岩低丘陵地上,可达180g/kg左右,最低的在砂性浅海沉积物阶地上,尚不足10g/kg,DCB浸提性 Fe_2O_3 占三酸消化性 Fe_2O_3 含量的百分比,绝大多数剖面均在60%以上,有些甚至超过90%。不论是绝对含量或相对百分比在三个断面间均无明显差异。这种情况表明所研究的土壤均有明显的富铁化作用,虽然其作用程度因受母岩、地形的影响尚不完全一致。

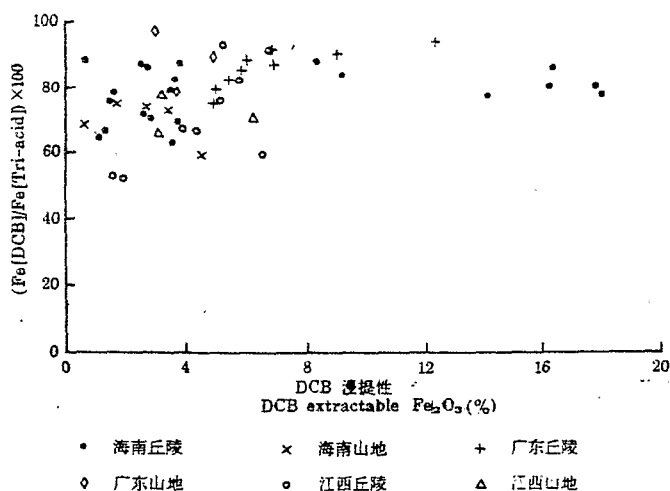


图7 游离铁含量(B层)

Fig. 7 Free iron contents (B horizon)

(4) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率(Sa):如图8所示,三个断面中B层细土三酸(盐酸-硝酸-硫酸)消化性或热碱(0.5mol/L氢氧化钠)浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率均有明显差异,前者变化在1.3至2.8之间,后者在0.5至2.8之间,虽然其中江西断面的下限值比海南和广东断面的大,但三个断面的上限值并无明显差异。这显然是气候、母岩、地形及土壤物质的侵蚀堆积作用诸多方面的影响所致。如海南断面中玄武岩低丘上B层三酸消化性和热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率分别低至1.4和0.6,但石英砂岩低丘上两者则分别高达2.8和1.4。山地和高丘陵上有较多的剖面,其B层 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率比低丘陵地上的小,则可能是由于山地和高丘陵地上有常湿润或偏向常湿润的湿润土壤水分状况,加强了风化释出的盐基元素和硅酸的淋失,部分矿物进行酸性水解作用,产生多量的三水铝矿和羟基铝聚合物,或铝蛭石及铝间层粘土矿物所致^[11]。但这些土壤中矿物分解并不彻底,正如矿物鉴定和化学分析结果所表明,他们尚含有较多的如长石和水云母等可风化矿物,CEC₇仍然维持在16cmol(+)/kg粘粒以上,迥然不同于低丘陵地上强度富铁铝化的土壤^[1]。

低 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率是土壤富铝化作用的标志,但三酸消化性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率

• 1) Boris Volkoff (ORSTOM), Chen Zhicheng, Gong Zitong and Zhang Taolin (ISSAS), 1994, Soils of South East China, Transect studies and Development of classification criteria.

和热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率分别受矿物组成制约,两者并无完全对应关系(见图8)。根据测定结果表明,三酸消化性和热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率与矿物组成之间存在有如表1所列的关系。因此,同时考虑三酸消化性和热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率可以更全面地了解富铝化作用的方式和程度。

表1 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率与矿物组成的关系*

Table 1 The relationship between $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molecular ratio and mineral composition

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molecular ratio		矿物组成 Mineral composition
三酸消化性 Tri-acid digestive	热碱浸提性 Hot NaOH extractable	
<2.0	<1.0	除有较多高岭石外,并有很多三水铝矿。
<2.0	≥ 1.0	有很多高岭石,但仅有少量三水铝矿。
≥ 2.0	<1.0	有较多三水铝矿或铝蛭石,但仅有少量高岭石。
≥ 2.0	≥ 1.0	高岭石、三水铝矿及铝蛭石含量均不多。

* Boris Volkoff (ORSTOM), Chen Zhicheng, Gong Zitong and Zhang Taolin (ISSAS), 1994, Soils of South East China, Transect studies and Development of classification criteria.

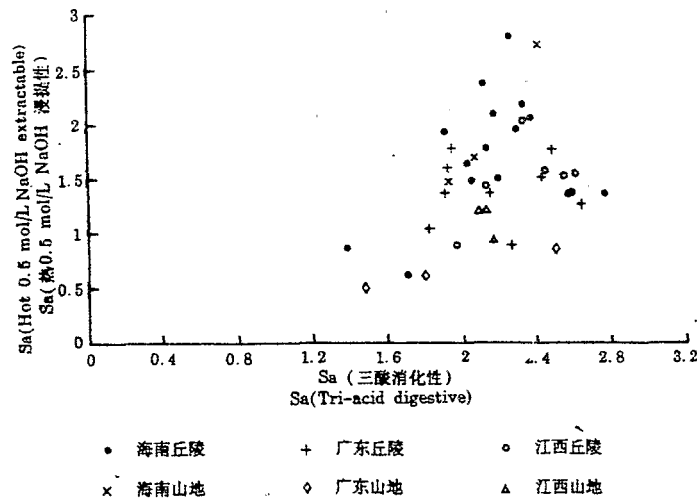


图8 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率(B层)

Fig. 8 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molecular ratio (B horizon)

(5) CEC_7 和 ECEC : 如图9所示,在海南和广东两个断面的丘陵地上,除少数受影响外,绝大部分剖面B层的 CEC_7 均小于 $24\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒,其中并有一半以上面更小于 $16\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒,且其 ECEC 也小于 $12\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒;在江西丘陵地上虽有较多剖面B层 CEC_7 小于 $24\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒,但尚有少部分剖面 $24\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒,且其中无一个剖面小于 $16\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒。在海南和广东

面的山地上；多数剖面 B 层的 CEC_7 在 16—24 $cmol(+) / kg$ 粘粒之间，在江西断面的山地上则均大达 40 $cmol(+) / kg$ 粘粒左右。虽然，B 层 CEC_7 在海南、广东和江西三个断面间有依次增大趋势，但在同一断面的丘陵或山地上它仍然有较大差别。这是因母岩、母质及地形的局部变异，或因受侵蚀影响，使土层形成于不同风化层段上所造成的。

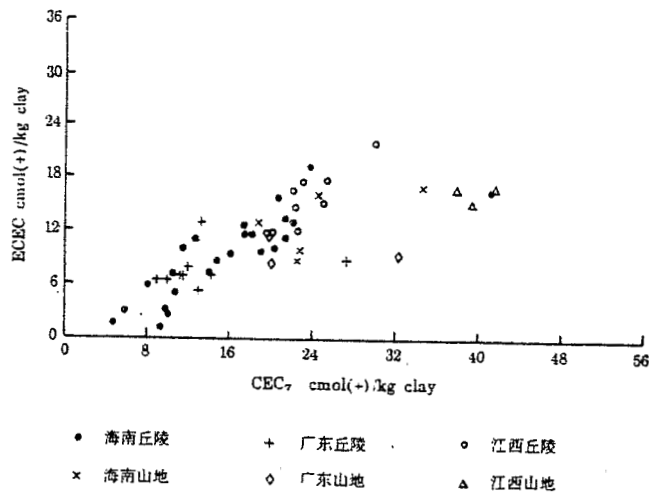


图 9 CEC_7 与 ECEC (B 层)

Fig. 9 CEC_7 and ECEC (B horizon)

从图 9 可见，B 层 ECEC 虽有随 CEC_7 增大而增大的趋势，但两者并不完全相关，尤其山地上更为明显。这可能是因山地富铁铝化土壤中交换性铝有部分以羟基铝形式存在，按常规的氯化钾浸提-滴定方法未能将其测定出来，或有其它交换性阳离子，如铁、锰的存在，造成交换性铝的测定结果偏低所致^[6,8]。

土壤 CEC_7 和 ECEC 分别决定于可变净负电荷量和永久负电荷量，在土壤有机质及粘粒含量相同的情况下，他们主要受粘土矿物及铁铝氧化物制约。因此，其大小可以综合地反映土壤富铁铝化作用发展阶段的差异。通常认为，若 $CEC_7 < 24cmol(+) / kg$ 粘粒，表明土壤有明显的富铁铝化作用，被称为低活性粘粒土壤；若 CEC_7 和 ECEC 分别 < 16 和 $< 12cmol(+) / kg$ 粘粒，表明土壤有强度的富铁铝化作用，则可能为氧化土(ST)或铁铝土(FAO)。对照上述 B 层 CEC_7 和 ECEC 测定结果，表明所研究的土壤，大多数剖面已有明显的或强度的富铁铝化作用。但是，如图 10 和 11 所示，B 层 CEC_7 与三酸消化性或热碱浸提性 SiO_2 / Al_2O_3 分子率并无完全对应关系。据矿物鉴定结果表明，某些土壤 CEC_7 低，只是因富含水云母或富含游离氧化铁所致，并不多含高岭石或三水铝矿和羟基铝聚合物，或铝蛭石和铝间层矿物。因此， $CEC_7 < 24cmol(+) / kg$ 粘粒的土壤，其富铝化作用的程度尚不一致。

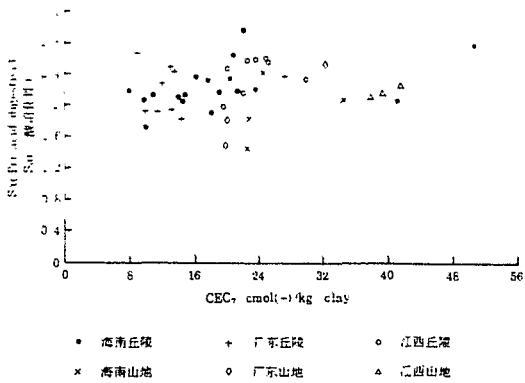


图 10 Sa(三酸消化性)与 CEC₇(B 层)

Fig. 10 Sa (tri-acid digestive) and CEC₇(B horizon)

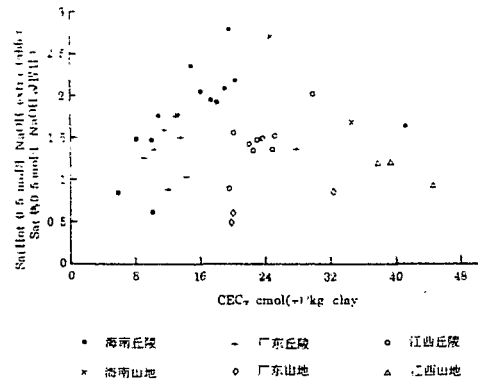


图 11 Sa(热碱浸提性)与 CEC₇(B 层)

Fig. 11 Sa (hot NaOH-extractable) and CEC₇(B horizon)

根据本研究中矿物鉴定结果表明,某些富铁铝化土壤的细粉粒部分尚有相当量的铝硅酸盐粘土矿物¹⁾。它们具有阳离子交换性能,但通常在计算 CEC₇ 或 ECEC(cmol(+)/kg 粘粒)时只考虑粘粒部分,使其结果可能偏大。若计算时改用粘粒与细粉粒的加和,似应更为合理,然而对于有些细粉粒部分以石英为主的土壤,则又可能使计算的结果偏小。根据本研究中用两种方法计算的 CEC₇ 进行统计,表明 CEC₇cmol(+)/kg 粘粒与 CEC₇cmol(+)/kg(粘粒+细粉粒)之间存有显著正相关,如图

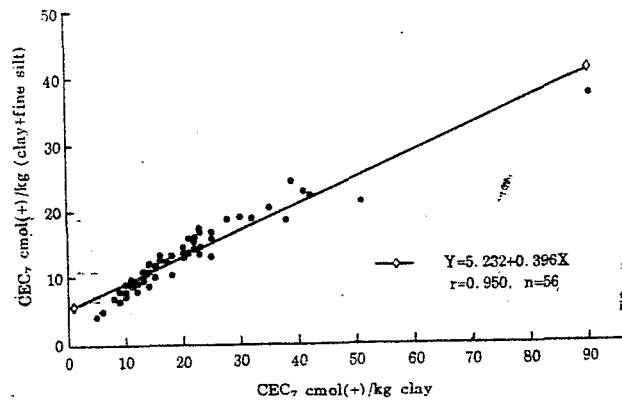


图 12 两种计算方法的 CEC₇(B 层)的相关性

Fig. 12 Correlation between CEC₇ values (B horizon) obtained by the two calculation methods

12 所示。在计算 CEC₇ 或 ECEC(cmol(+)/kg 粘粒)时,只考虑粘粒,不计细粉粒含量)方法,虽然不够完善,但它已成为现行的土壤系统分类中的工作定义,我们仍加引用。

(6)氧化钾含量:如图 13 所示,B 层细土三酸消化性 K₂O 含量和全钾量(K₂O)别变化在 0.8—43.3g/kg 和 0.8—50.4g/kg 之间。同一断面内,因母岩种类和风化程

1) Boris Volkoff (ORSTOM), Chen Zhicheng, Gong Zitong and Zhang Taolin (ISSAS), 1994, Soils of Southeast China, Transect studies and Development of classification criteria.

不同,氧化钾含量差异很大。部分在花岗岩山地丘陵地上的剖面,三酸消化性 K_2O 含量比全钾量(K_2O)明显地小,表明这些剖面中有较多钾长石矿物存在,因为它们不能被三酸消化分解所致。虽然某些剖面B层 K_2O 含量小是母岩的继承特征所致,但在高度风化的土壤中,随着含钾矿物,如钾长石、云母类的彻底分解消失,B层 K_2O 含量必定是很小的,因此,B层 K_2O 含量可作为高度风化土壤诊断的限定指标之一。

以上结果表明,我国热带、亚热带东部富铁铝化土壤由于受各种成土因素,包括人类活动及侵蚀堆积等多方面的影响,其各项特性差异甚大,而且这种差异并不与土壤地带或大地形单元完全对应。某些特性相互之间虽有联系,但并非完全一致。因此,在土壤系统分类中采用有关特性的组合,或在限定范围内采用某一单项特性作为诊断层或诊断特性的鉴别指标更为合理。

(二)土壤系统分类

1. 土纲的划分

根据表征土壤矿物质风化和剖面发育阶段的土壤形态特征和物理及化学性质所组合成的诊断层和/或诊断特性的差异,所研究的70个剖面富铁铝化土壤可归属于铁铝土、富铁土、淋溶土及锥形土四个土纲。

属于铁铝土纲的富铁铝化土壤有由强度富铁铝化作用形成的,上界在矿质土表至150cm范围内的铁铝层。该层的主要特征是:(1)厚度

≥ 30 cm;(2)砂壤质或更细的质地,粘粒含量 $\geq 8\%$;(3)CEC₇和ECEC分别为 < 16 和 < 12 cmol(+)/kg粘粒;(4)0.05~0.2mm颗粒中可风化矿物含量 $< 10\%$,或细土全钾量(K_2O) < 10 g/kg;(5)保持岩石构造的体积 $< 5\%$,或在含可风化矿物的岩屑上有二三氧化物包膜。铁铝土是矿物质风化和剖面发育皆达到最高阶段的土壤,其粘土矿物组成中高岭石占绝对优势,并有多量三水铝矿和/或赤铁矿及针铁矿,但无水云母或仅有痕量铝蛭石。由于高度粘质化,粘粒含量的剖面层次分异不明显。他们仅分布于海南和广东两个断面中玄武岩和部分花岗岩、浅海沉积物及老第四纪红粘土沉积物的低丘陵地上。

属于富铁土纲的富铁铝化土壤有由中度富铁铝化作用形成的,上界在矿质土表至125cm范围内的低活性富铁层。该层的主要特征是:(1)厚度 ≥ 30 cm;(2)砂壤质或更细的质地;(3)有5YR或更红的色调,或细土DCB浸提性铁含量(Fe) ≥ 14 g/kg_{[Fe_2O_3] ≥ 20 g/kg],或DCB浸提性铁占全铁量的40%以上;(4)该层的部分亚层(≥ 10 cm)CEC₇ < 24 cmol(+)/kg粘粒;(5)无铁铝层所有的全部特征。富铁土的矿物质风化已进入较高阶段,其粘土矿物组成中以高岭石占优势,伴有三水铝矿及少量水云母和蛭石类矿物,或高}

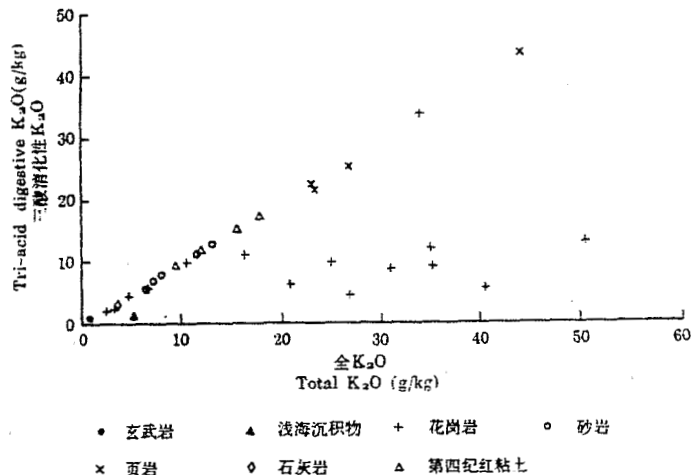


图 13 K_2O 含量(B层)

Fig. 13 K_2O contents (B horizon)

岭石与水云母并存,伴有少量蛭石类,或水云母占优势,伴有少量高岭石,或高岭石与水云母并存,有很多三水铝矿或铝蛭石,同时含有多量游离氧化铁(水铁矿、赤铁矿、针铁矿)。因此土壤净负电荷量较小,CEC₇ 小于 24cmol(+)/kg 粘粒,而表现低活性粘粒特征。富铁土的剖面发育趋于成熟阶段,部分富铁土有由粘粒明显累积作用形成的粘化层。所研究的三个断面中均有富铁土分布,但在江西断面中它限于丘陵地上。

属于淋溶土纲的富铁铝化土壤有由层状-晶格硅酸盐粘粒明显累积作用形成的,上界在矿质土表至 125cm 范围内的粘化层。该层的主要特征是:(1)结构面和/或孔隙壁上可见有明显的粘膜,或在上覆淋溶层与该层之间无岩性不连续的土壤剖面中该层比上覆淋溶层含有更多的粘粒,且在垂直距离 30cm 内达到下列限定的粘粒增量,即上覆淋溶层粘粒含量(%)分别为 <15, 15—40 和 >40,该层粘粒增量(%)则相应分别为 ≥3(绝对量), ≥20(相对量)和 ≥8(绝对量);(2)该层厚度为其上覆土层总厚度的 1/10,但若其质地为壤质或粘质,则应至少为 7.5cm,或若其质地为砂质或砂壤质,则应至少为 15cm;(3)在无明显粘膜的情况下,其上覆土层应至少 18cm 厚。淋溶土的矿物质风化尚处初级阶段,富铁铝化作用程度不及富铁土,虽有铁质特性(即有 5YR 或更红的色调,或 DCB 浸提性铁含量(Fe) ≥14g/kg [(Fe₂O₃) ≥20g/kg],或 DCB 浸提性铁占全铁量的 40%或更多),或铝质现象(即符合下列的任意 2 项:① pH_{KCl} <4.0;② 铝饱和度 ≥60%;③ 1mol/L KCl 浸提性 Al ≥12cmol($\frac{1}{3}$ Al³⁺)/kg 粘粒;④ 1mol/L KCl 浸提性 Al 占 CEC₇ 的 35%或更多),但其粘土矿物组成中仍含有多量水云母,虽伴有高岭石。土壤净负电荷量较大,在矿质土表至 125cm 范围内 B 层各个亚层的 CEC₇ 均 ≥24cmol(+)/kg 粘粒,而表现高活性粘粒特征。淋溶土仅在三个断面中丘陵地上呈零星分布。

属于雏形土纲的富铁铝化土壤无粘化层,低活性富铁层及铁铝层所有的全部特征,但有由弱度富铁铝化作用形成的雏形层。该层的主要特征是:(1)厚度 ≥10cm,其底部至少在土表下 25cm 处;(2)砂壤或更细的质地;(3)有土壤结构发育,保持岩石构造的体积 <50%,或与其下面土层相比,彩度更高,色调更红或更黄,或者成土母质含有碳酸盐,则碳酸盐有下移迹象。雏形土的矿物质风化和剖面发育阶段均为较低。虽有铁质特性或铝质现象,但其粘土矿物组成中含有较多水云母、铝蛭石及铝间层矿物,仅伴有少量高岭石和三水铝矿及羟基铝聚合物。土壤净负电荷量大,在矿质土表至 125cm 范围内 B 层各个亚层的 CEC₇ 均 ≥24,甚至可达 40—50cmol(+)/kg 粘粒。雏形土在三个断面中均有分布,但限于山地上,或因强烈侵蚀,使风化层下段表露的丘陵地上。

2. 亚纲的划分

土壤水分状况影响着富铁铝化土壤矿物质风化过程中释出的盐基元素和硅酸的淋失强度,进而控制着矿物分解合成的方式和产物,以及氧化铁铝矿物的存在形式^[11]。因此,上述四个土纲根据其土壤水分状况的差异分别酌情细分为干润、常湿及湿润亚纲。

干润亚纲是有半干润土壤水分状况的土壤,其分布范围仅限于海南断面的西侧。属于这一亚纲的土壤中盐基元素和硅酸的淋失强度较弱,B 层盐基饱和度高在 50%左右,铝饱和度低在 30%以下,热碱浸提性 SiO₂/Al₂O₃ 分子率大达 2.5 以上。铝硅酸盐矿物以部分水解,双硅铝化或单硅铝化方式进行分解合成,形成 2:1 和/或 1:1 型铝硅酸盐粘土矿物,氧化铁矿物中以赤铁矿占绝对优势。

常湿亚纲是有常湿润土壤水分状况的土壤，他们分布于三个断面的山地上。属于这一亚纲的土壤中盐基元素和硅酸的淋失十分强烈，大多数剖面 B 层盐基饱和度低在 20% 以下，铝饱和度高在 60% 以上，热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率小，在 1.0 以下，铝硅酸盐矿物以有限度酸性水解、铝质单、双硅铝化方式进行分解合成，其形成的粘土矿物组成中除高岭石与水云母并存外，有多量三水铝矿和羟基铝聚合物或铝蛭石。氧化铁矿物中以针铁矿和水铁矿占绝对优势。

湿润亚纲是有湿润土壤水分状况的土壤，他们广泛分布于三个断面的丘陵地上。属于这一亚纲的土壤中盐基元素和硅酸的淋失强烈，大多数剖面 B 层盐基饱和度低在 35% 以下，铝饱和度高在 60% 以上，热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率在 1—2 之间，铝硅酸盐矿物以全部水解、富铝化，或部分水解、单、双硅铝化方式进行分解合成，其形成的粘土矿物组成中以高岭石占绝对优势，伴有三水铝矿、无或有少量水云母和蛭石类，或以高岭石与水云母并存，伴有少量蛭石类，或以水云母占优势或多量水云母和蛭石类，伴有高岭石。氧化铁矿物以赤铁矿和针铁矿并存。

3. 土类的划分

属同一个亚纲的富铁铝化土壤，因成土因素的差异，其盐基元素和硅酸淋失及铁铝氧化物富集的程度并不一致。因此，根据表征其富铁铝化程度的诊断特性，把湿润铁铝土划分为暗红和筒育两个土类。前者形成于玄武岩低丘上，其矿质土表至 125cm 深度范围内有一半以上的土层润态色调为 2.5YR 或更红，干态色调为 5YR 或更红，干态明度 < 4 ，润态明度不比干态的低一个单位，且细土 DCB 浸提性 Fe 含量 $\geq 70.0\text{g/kg}$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 100\text{g/kg}$)；后者是除暗红土类之外的其他湿润铁铝土。对属于富铁土、淋溶土及锥形土纲中的各亚纲则酌情划分为钙质、强风化富铝、粘化、铝质、铁质及筒育诸土类。钙质土类有碳酸盐岩岩性特征（即有上界位于矿质土表至 125cm 范围内，沿水平方向起伏或断续的碳酸盐岩石质接触面，同时，该深度范围内有碳酸盐岩碎屑或风化残余石灰，所有土层盐基饱和度 $\geq 50\%$ ， $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})} \geq 5.5$ ）。湿润富铁土亚纲中强风化土类在矿质土表至 125cm 范围内 B 层部分亚层 ($\geq 10\text{cm}$) 有分别 < 16 和 $< 12\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 粘粒的 CEC，和 ECEC，及富铝特性（即细土三酸消化性或粘粒全量组成的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率 < 2.0 ，或细土热碱浸提性 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子率 < 1.0 ）。富铝土类在矿质土表至 125cm 范围内 B 层部分亚层 ($\geq 10\text{cm}$) 有富铝特性。湿润富铁土亚纲中粘化土类有上界在矿质土表至 125cm 范围内的粘化层。淋溶土和锥形土纲中铝质土类在矿质土表至 125cm 范围内 B 层各个亚层 ($\geq 10\text{cm}$) 均有铝质现象。铁质土类有铁质特性，但无钙质、强风化富铝及铝质土类的诊断特性。干润和湿润富铁土亚纲中筒育土类只有所属亚纲必要的诊断层和诊断特性。

4. 亚类的划分

在同一土类的根据表征次要成土作用的诊断特性或诊断层，酌情细分为如下亚类：表蚀（铁铝层、低活性富铁层、粘化层或锥形层直接裸露地表），石质〔在矿质土表至 100cm 范围内有石质接触面，或无石质接触面，但在该深度范围内有一半以上土层 $\geq 2\text{mm}$ 砾石或岩屑 $\geq 70\%$ （按体积计）〕，腐殖（有腐殖质特性，即矿质土表至 100cm 深有机碳储量 $\geq 12\text{kg/m}^3$ ），黄色〔有偏向常湿润的湿润土壤水分状况，且至少在 B 层上部 ($\geq 10\text{cm}$) 呈现 7.5YR 或更黄的色调〕，粘化（有上界在矿质土表至 125cm 范围内的粘化层），斑纹〔矿质土表下 50 至 100cm 范围内部分土层 ($\geq 10\text{cm}$) 有氧化还原特征或潜育现象〕，网纹（矿质

土表至 125cm 范围内有聚铁网纹层),富盐基[矿质土表至 125cm 范围内 B 层各个亚层 ($\geq 10\text{cm}$)盐基饱和度均 $\geq 35\%$],富铝[铝质常湿锥形土中在矿质土表至 125cm 范围内 E 层部分亚层 ($\geq 10\text{cm}$)有富铝特性],普通(只有所属土类必要的诊断层和诊断特性,无上述各亚类附加的诊断层或诊断特性)。

综上所述,将所研究的土壤,就其诊断层和/或诊断特性的差异,在系统分类中的归属列于表 2。

表 2 所研究的富铁铝化土壤的系统分类
Table 2 Taxonomic classification of ferralitic soils studied

剖面号* Profile No.	所属类型 Taxa				相当首次方案中的类型 Related taxa in 1st draft
	亚类 Subgroup	土类 Group	亚纲 Suborder	土纲 Order	
N7,N20	腐殖	暗红	湿润	铁铝土	砖红壤
N2,H15,H18	普通	暗红	湿润	铁铝土	砖红壤
S13	表蚀	筒育	湿润	铁铝土	赤红壤
H17	斑纹	筒育	湿润	铁铝土	赤红壤
N8	富盐基	筒育	湿润	铁铝土	赤红壤
N1,H14,S2,S3	普通	筒育	湿润	铁铝土	赤红壤
H2	表蚀	筒育	干润	富铁土	燥红土
H6	普通	筒育	干润	富铁土	燥红土
S12	腐殖	富铝	常湿	富铁土	黄壤
S11	腐殖	钙质	湿润	富铁土	红色石灰土
S8	表蚀-粘化	强风化筒育	湿润	富铁土	红壤
S5	腐殖-粘化	强风化筒育	湿润	富铁土	红壤
S6	腐殖	富铝	湿润	富铁土	红壤
S7	黄色	富铝	湿润	富铁土	红壤
H1	粘化	富铝	湿润	富铁土	红壤
M21	普通	富铝	湿润	富铁土	红壤
H11	腐殖	粘化	湿润	富铁土	红壤
H5	黄色	粘化	湿润	富铁土	红壤
M23	斑纹	粘化	湿润	富铁土	红壤
H13,M6,M9	网纹	粘化	湿润	富铁土	红壤
H8,M8	普通	粘化	湿润	富铁土	红壤
H9	腐殖	筒育	湿润	富铁土	红壤
M20	黄色	筒育	湿润	富铁土	红壤
H10,H12,S9	斑纹	筒育	湿润	富铁土	红壤
S10	网纹	筒育	湿润	富铁土	红壤
S4,M5,M22	普通	筒育	湿润	富铁土	红壤

续表 2

剖面号 Profile No.	所属类型 Taxa				相当首次方案中的类型 Related taxa in 1st draft
	亚类 Subgroup	土类 Group	亚纲 Suborder	土纲 Order	
S14	普通	铝质	湿润	淋溶土	准红壤
H16	石质	铁质	湿润	淋溶土	准红壤
M14, M16, H4	富铝-腐殖	铝质	常湿	锥形土	灰黄棕壤或准黄壤
H3	腐殖	铝质	常湿	锥形土	准黄壤
M3	石质	铝质	湿润	锥形土	准红壤
M2	表蚀	铝质	湿润	锥形土	准红壤
M19	黄色	铝质	湿润	锥形土	准红壤
S1, M10, M13	普通	铝质	湿润	锥形土	准红壤
H7	普通	铁质	湿润	锥形土	准红壤

• 剖面代号 N, H 表示海南断面, S 和 M 分别表示广东和江西断面。

其中富盐基筒育湿润铁铝土与 Eutrudox (ST) 或 Haplic Ferralsols (FAO) 相当, 其他湿润铁铝土与 Hapludox (ST) 或分别与 Haplic、Humic、Rhodic 及 Xanthic Ferralsols (FAO) 相当。腐殖粘化湿润富铁土与 Haplohumults (ST) 或 Humic Acrisols (FAO) 相当; 网纹粘化湿润富铁土与 Plinthudults (ST) 或 Plinthic Acrisols (FAO) 相当; 其他粘化湿润富铁土及粘化富铝湿润富铁土与 Hapludults 或 Paleudults (ST) 或 Ferric Acrisols (FAO) 相当。表蚀-粘化或腐殖-粘化强风化的湿润富铁土与 Kandiodults 或 Kanhapludults (ST) 或 Ferric Acrisols (FAO) 相当。腐殖钙质湿润富铁土与 Hapludolls (ST) 或 Humi-Eutri-Ferralic Cambisols (FAO) 相当; 腐殖富铝湿润富铁土和腐殖富铝常湿富铁土与 Haplumbrepts (ST) 或 Humi-Ferralic Cambisols 和 Humi-Xanthi-Ferralic Cambisols (FAO) 相当; 其他富铝湿润富铁土和筒育湿润富铁土与 Dystrochrepts (ST) 或 Dystri-Ferralic Cambisols (FAO) 相当。筒育干润富铁土与 Ustochrepts (ST) 或 Dystri-Ferralic Cambisols (FAO) 相当。铝质湿润淋溶土和铁质湿润淋溶土与 Hapludults (ST) 或 Ferric Alisols (FAO) 相当。腐殖铝质常湿锥形土与 Haplumbrepts (ST) 或 Alumi-Humic Cambisols (FAO) 相当; 铝质湿润锥形土与 Dystrochrepts (ST) 或 Alumi-Dystric Cambisols (FAO) 相当; 铁质湿润锥形土与 Dystrochrepts (ST) 或 Ferri-Dystric Cambisols (FAO) 相当^[10, 15]。

参考文献

1. 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤(第一版), P495—518, 科学出版社。
2. 中国科学院南京土壤研究所土壤地理室主编, 1988: 国际土壤分类述评, 科学出版社。
3. 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组及中国土壤系统分类课题研究协作组, 1991: 中国土壤系统分类(首次方案), 科学出版社。
4. 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析, 上海科学技术出版社。
5. 陈志诚、赵文君, 1989: 我国铁铝土的分类, 土壤, 21(2): 75—79。
6. 陈志诚, 1990: 富铁铝化, 《土壤发生中的化学过程》, 于天仁、陈志诚主编, P432—470, 科学出版社。
7. 赵文君、陈志诚, 1993: 海南岛主要土壤的类型鉴别与检索, 《中国土壤系统分类进展》, 中国土壤系统分类研究丛

- 书编委会,科学出版社。
8. 赵文君、陈志诚,1994:富铁铝化土壤 CEC 与 ECEC 的相关性,《中国土壤系统分类新论》,中国土壤系统分类研究丛书编委会,P179—182,科学出版社。
 9. FAO/Unesco,1974:Soil Map of World.1:5000,000,Vol. 1. Legend,Paris.
 10. FAO/Unesco,1988:Soil Map of The World. Revised legend,Rome.
 11. G. Pedro,1979:The conditions of formation of secondary constituents. In *Constituents and Properties of Soils*, edited by M. Bonneau and B. Souchier, p. 63—81, Academic Press, London (in English).
 12. ISSS, ISRIC, FAO, 1994: *World Reference Base for Soil Resources (Draft)*, Compiled and edited by O. C. Spaargren, Wageningen/Rome.
 13. Shi Hua, Gong Zi-tong and Chen Hong-shao, 1985: Genetic characteristics of the soils in China. Soil Research Report No. 13, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, China.
 14. Soil Survey Staff, 1975: *Soil Taxonomy*, U. S. Dep. Agriculture Handbook No. 436, Washington, DC.
 15. Soil Survey Staff, 1994: *Keys to Soil Taxonomy*, U. S. Dep. Agriculture, SCS, sixth edition, Washington, D. C.

SOME CHARACTERISTICS AND TAXONOMIC CLASSIFICATION OF FERRALLITIC SOILS IN EASTERN PART OF TROPICAL AND SUBTROPICAL ZONE OF CHINA

Chen Zhicheng Gong Zitong
Zhao Wenjun Zhang Taolin

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica,
Nanjing, 210008*)

Boris Volkoff

(*ORSTOM,
France*)

Summary

In the present paper some characteristics of seventy ferrallitic soil profiles in three selected soil transects located in the eastern part of tropical and subtropical zones of China are discussed, and the taxonomic classification of the soils is made according to the differences of diagnostic horizons and/or diagnostic characteristics, which are connected with soil-forming processes. All these soils studied are classified into four orders: Ferrallicsols, Ferrisols, Luvisols and Cambisols, and their subdivisions into suborders, groups and subgroups are also proposed.

Key words ferrallitic soil characteristics, taxonomic classification