

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.05.004

欧阳宁相, 张杨珠, 盛浩, 等. 中国南方富铁铝化土壤土系建立进展. 土壤, 2021, 53(5): 907–915.

## 中国南方富铁铝化土壤土系建立进展<sup>①</sup>

欧阳宁相, 张杨珠\*, 盛浩, 周清

(湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

**摘要:** 土壤基层分类单元划分, 特别是土系建立是土壤系统分类的基础, 也能直接为农业生产提供更详细的科学指导。富铁铝化土壤(砖红壤、赤红壤和红壤)在我国南方广泛分布, 为了解其在中国土壤系统分类中的归属以及土系建立情况, 本文综述了自 2008 年以来土系研究的相关成果, 系统分析了富铁铝化土壤诊断层和诊断特性检索、高级分类单元归属以及基层分类单元建立现状, 并展望了土系建立的发展方向: 进一步细化土系划分和描述标准, 加强新土系建立, 加强新技术和新方法在土系建立中的应用, 加大和扩展土系建立成果的运用, 以为我国南方富铁铝化土壤系统分类研究提供参考。

**关键词:** 富铁铝化土壤; 中国土壤系统分类; 土系建立

**中图分类号:** S155.3      **文献标志码:** A

### Progresses on Soil Series Establishment of Ferrallitic Soils in Southern China

OUYANG Ningxiang, ZHANG Yangzhu\*, SHENG Hao, ZHOU Qing

(College of Resources & Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** The study of soil basic taxon, especially soil series establishment, is a foundation of Chinese Soil Taxonomy (CST), and can directly provide scientific guidance for agricultural production. The ferrallitic soils (Latosol, Latosolic red earth, red earth) are widely distributed in southern China. In order to understand the progresses of attribution and soil series establishment of ferrallitic soils in CST, the paper reviewed the achievements of the National S&T Basic Special Foundation Project “Survey of Soil Series in China and Compilation of Soil Series of China” since 2008, in which the retrieval consequences of diagnostic horizons and characteristics and attribution of higher taxa and soil series establishment of ferrallitic soils were systematically analyzed, the future development of soil series establishment should focus on the refining the criteria of partitioning and describing soil series, strengthening the establishment of new soil series, utilizing the updated technology and method, and broadly capitalizing on the achievements. These advances would be a reference for researching soil taxonomy of ferrallitic soils in southern China.

**Key words:** Ferrallitic soils; Chinese Soil Taxonomy; Soil series establishment

我国土壤分类研究经近一个世纪的探索与发展, 逐步实现了从定性向定量、从人为主观向系统客观的转变<sup>[1]</sup>。特别是自 20 世纪 80 年代开展的以诊断层和诊断特性为划分依据的中国土壤系统分类研究以来, 我国已逐步建立了系统化、定量化和标准化的土壤分类体系, 并逐渐成为国际分类体系中的主流<sup>[2-4]</sup>。土壤基层分类研究特别是土系建立是土壤分类科学中的基础, 它不仅能在区域尺度下解译土壤发生和类型信息, 而且能直接为农业生产、土地评价和生态保护提供土壤数据<sup>[5]</sup>。我国土壤系统分类基层分类单元研

究虽起步较晚, 但发展迅速, 特别是自 1996 年确定我国土壤基础分类单元土族和土系后, 其划分原则和鉴别特征的理论研究以及土系建立的实践工作取得了飞速发展, 并获得了一系列成果<sup>[6-8]</sup>。

我国南方热带、亚热带地区受湿热气候环境影响, 广泛分布着不同富铁铝化程度的土壤, 在土壤发生分类中主要归属于红壤、赤红壤和砖红壤 3 个土类<sup>[9]</sup>, 而黄壤在我国南方主要分布于海拔 800 m 以上的山地区域, 其富铁铝化程度较弱, 属于山地土壤, 而非典型的基带土壤。由于我国南方区域复杂的成土

①基金项目: 国家科技基础性工作专项课题(2014FY110200)和湖南省研究生科研创新项目(CX2018B410)资助。

\* 通讯作者(zhangyangzhu2006@163.com)

作者简介: 欧阳宁相(1992—), 男, 湖南宁远人, 博士研究生, 主要研究方向为土壤地理学。E-mail: ouyangningxiang92@163.com

母质、地形部位、植被类型和气候条件等因素,在发生分类体系中同一土类的土壤发生特性和理化性质存在巨大差异。因此,自中国土壤系统分类确立以来,关于我国南方富铁铝化土壤的系统分类研究以及土系建立就屡见报道<sup>[10-19]</sup>,但这方面的研究成果一直缺乏系统的总结。为此,本文以我国南方具有中高程度富铁铝化过程土壤(红壤、赤红壤和砖红壤)为研究对象,分析了近 20 年来其系统分类研究以及土系建立的成果,并展望了土系建立的发展方向,旨在对该区域富铁铝化土壤的发生、分类与利用进一步提供参考和依据。

## 1 文献来源

早在 20 世纪 80 年代就有土壤学者对富铁铝化土壤的系统分类进行研究,其重点是建立富铁铝化土壤在中国土壤系统分类中高级分类单元的归属。随着中国土壤系统分类体系的逐渐完善,其分类标准陆续出版了《中国土壤系统分类(首次分案)》<sup>[20]</sup>(后称《首次分案》)、《中国土壤系统分类(修订分案)》<sup>[21]</sup>(后称《修订分案》)和《中国土壤系统检索(第三版)》<sup>[22]</sup>(后称《第三版》),富铁铝化土壤在系统分类高级分类单元的归属逐渐清晰,但关于富铁铝化土壤的基层单元划分,特别是土系建立起步较晚。虽在系统分类建设早期对富铁铝化土壤的基础分类研究进行了尝试,如出版了《湖北省土系概要》<sup>[23]</sup>和《浙江省土系概论》<sup>[10]</sup>等,但由于当时基层分类单元的划分标准不统一,且大部分研究资料是直接沿用第二次土壤普查获取的信息等原因,因此建立的土系很难进行参比分析。

自 2008 年开始,由中国科学院南京土壤研究所牵头 20 多所大学和研究机构参与,按照中国土壤系统分类新标准,开展了国家基础性工作专项“我国土系调查与《中国土系志》编制(2008FY110600)”和“我国土系调查与《中国土系志(中西部卷)》编制(2014FY110200)”研究。本研究的文献资料主要来源于该项目成果已出版的《中国土系志·湖北卷》<sup>[24]</sup>、《中国土系志·浙江卷》<sup>[25]</sup>、《中国土系志·福建卷》<sup>[26]</sup>、《中国土系志·广东卷》<sup>[27]</sup>、《中国土系志·海南卷》<sup>[28]</sup>、《中国土系志·湖南卷》<sup>[29]</sup>、《中国土系志·贵州卷》<sup>[30]</sup>、《中国土系志·江西卷》<sup>[31]</sup>、《中国土系志·云南卷》<sup>[32]</sup>、《中国土系志·广西卷》<sup>[33]</sup>、《中国土系志·重庆卷》<sup>[34]</sup>和《中国土系志·四川卷》<sup>[35]</sup>,通过筛选专著中参比土种为富铁铝化土壤(砖红壤、赤红壤和红壤)的土系,对其进行整理和统计分析。

## 2 中国南方富铁铝化土壤系统分类的变革

### 2.1 诊断指标与高级分类单元的变革

20 世纪 80 年代,陈志诚和赵文君<sup>[36]</sup>对铁铝土的诊断指标以及所属类型进行了定义和检索,并在《首次分案》<sup>[20]</sup>中进行了明确。在诊断指标方面,除明确定量了铁铝 B 层的厚度、游离氧化铁、黏粒 CEC 和硅铝率等指标外,还为区分不是由于高富铁铝化作用而形成的低 CEC 和 Sa 值的土壤,而首创性地限定了与脱钾作用相关联的氧化钾含量范围。分类单元上,在铁铝土纲下,按土壤水分状况设立了常湿润铁铝土、半干润铁铝土和湿润铁铝土 3 个亚纲,红壤、赤红壤和砖红壤等 7 个土类以及 30 个亚类,但其土类名称仍然沿用发生分类体系名称。

之后经土壤分类学者 5 年的深入研究与完善<sup>[37-46]</sup>,1995 年出版的《修订方案》<sup>[21]</sup>对富铁铝化土壤的诊断层与诊断特性以及归属类型均做了详细修订。其主要的修订内容包括:①根据亚热带中度富铁铝化土壤中黏粒具有低活性这一特征,建立了低活性富铁层。②在高级分类单元中设立了富铁土纲,将中度富铁铝化土壤从铁铝土纲中划分出来;在淋溶土和雏形土纲的土类和亚类一级,设立了铁质和铝质类型。③彻底摒弃了土壤发生分类名称,在高级分类单元中采用属性分段连续命名法,使土壤类型名称结构更严谨,意义更明确。

在 2001 年出版的《第三版》<sup>[22]</sup>检索系统中,对《修订方案》<sup>[21]</sup>中的相应诊断指标进行了修订,如对富铝特征、铝质现象等诊断特性进行了技术性的修订。同时,该版本还增加了相应的土壤类型,如在湿润铁铝土亚纲下,新设了黄色湿润铁铝土土类以及表蚀暗红湿润铁铝土等 4 个亚类;在富铁土纲中,删除了钙质干润富铁土和黏化常湿富铁土土类,新增了钙质常湿富铁土土类以及若干亚类。

### 2.2 基层分类单元的变革

我国关于土壤系统分类中基层分类单元的研究始于 20 世纪 90 年代<sup>[47-49]</sup>,1992 年中国土壤系统分类项目组成立了土壤基层分类研究组,并初拟了《中国土壤系统分类中土种和土属分类单元的建立(试用方案,1992)》<sup>[50]</sup>,对 12 个代表性样区进行了基层分类研究,如徐礼煜<sup>[51]</sup>建立了江西省余江县红壤样区 13 个土种,黄承武和罗尊长<sup>[52]</sup>建立了湖南省第四纪红土样区 11 个土种等。在后期的实际工作中,对试用方案进行了修订完善,于 1996 年又重新出版了《中国土壤系统分类中土种和土属分类单元的建立(修订

方案, 1996)》<sup>[53]</sup>, 该方案较为全面地阐述了基层分类的划分路线, 并明确了基层分类单元为自然实体的概念。但《修订方案(1996)》的分类名称仍沿用发生分类土种和土属一词, 在概念上存在混淆, 且对于基础分类的划分原则和依据未做详细规定。

鉴于上述问题, 中国土壤系统分类基层分类研究组在 1999 年出版的《中国土壤系统分类理论·方法·实践》<sup>[54]</sup>和 2001 年出版的《第三版》<sup>[22]</sup>检索系统中明确了土族和土系的概念定义以及划分原则, 并通过 10 余年的实践与探索, 于 2013 年制定了用于我国土壤系统分类基础分类单元的“中国土壤系统分类土族和土系划分标准”<sup>[5]</sup>。在土族划分中明确规定了剖面控制层段内的土壤颗粒大小级别、土壤矿物组成类型、土壤温度等级、石灰性和酸碱反应类别、土体厚度等为主要鉴别特征; 在土系划分中列出了可供选择的土壤属性与划分标准, 如特定土层深度和厚度、表层土壤质地、土体中岩石碎屑、新生体和侵入体以及土壤盐分含量等, 并对土系命名做了规范。

### 3 基于中国土壤系统分类(第三版)的富铁铝化土壤归属

#### 3.1 富铁铝化土壤的诊断层与诊断特性

通过对南方 12 个省(直辖市、自治区)492 个被调查的单个土体诊断层和诊断特性进行整理分析, 得出其中诊断层共涉及 10 个, 诊断特性和现象共涉及 19 个(图 1、图 2)。受热带亚热带地区高温多雨气候的影响, 一方面, 物质生物循环剧烈, 土壤有机物质的分解矿化速率快; 另一方面, 由于淋溶作用强烈, 土壤有机物质矿化、淋溶损失也较大。因此, 在诊断表层中淡薄表层的检索频率最高(446 次), 其次为暗瘠表层(30 次), 相应的暗沃表层等的检索频率较低(<5 次)。在诊断表下层中黏化层的检索频率最高(258 次), 其次为锥形层和低活性富铁层(164 次和 152 次), 在气候更湿热的广东、广西、福建和海南等地则检索出了铁铝层(16 次), 在第四纪红土发育的土壤中检索出了聚铁网纹层(20 次), 黏磐出现极少(仅 1 次)。在诊断特性和现象中, 土壤水分状况以湿润土壤水分状况为主(452 次), 土壤温度状况以热性土壤温度状况为主(354 次)。受富铁铝化作用的影响, 调查土壤普遍具有铁质特性(391 次)、铝质特性或现象(155 次)。在地下水水位高或者排水不畅的区域, 土壤处于干湿交替环境中, 土体内氧化还原强烈, 易出现氧化还原特征(97 次)。

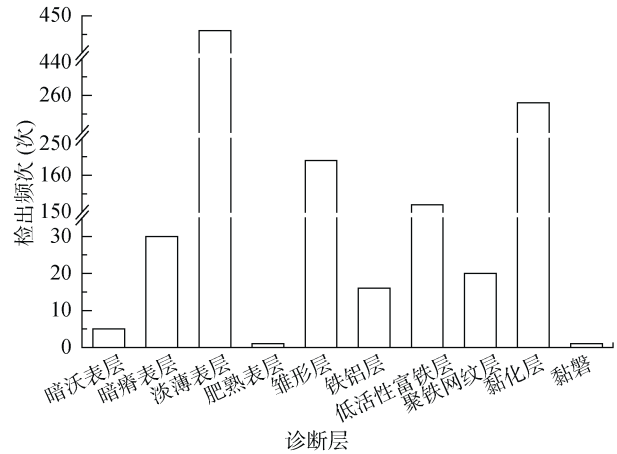


图 1 我国南方富铁铝化土壤诊断层统计

Fig. 1 Frequencies of diagnostic horizons of ferrallitic soils in southern China

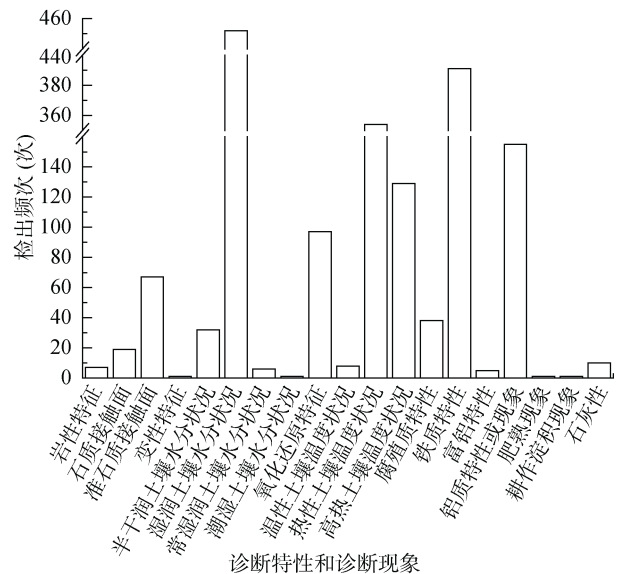


图 2 我国南方富铁铝化土壤诊断特性和诊断现象统计

Fig. 2 Frequencies of diagnostic characteristics and evidences of ferrallitic soils in southern China

由于不同成土母质的矿物种类和质地类型存在差异, 其在土壤形成发育过程中也具有显著差别, 并在诊断层上有所反映(图 3)。花岗岩风化物母质一方面因其质地较粗, 易于物质的淋溶迁移, 特别是碱基离子的淋洗剧烈, 从而导致土体呈酸性, 有利于铁铝离子的溶解淀积; 另一方面, 该母质的原生矿物主要由长石、石英和黑云母等原生矿物组成, 在酸性条件下, 由于强烈的淋滤作用, 原生矿物内脱钾剧烈, 有利于高岭石的形成<sup>[55]</sup>, 且由于黑云母在蚀变时表现出强烈的膨胀特征, 致使母岩内部产生裂隙, 导致土壤风化速率加快<sup>[56-57]</sup>。因此, 在气候湿热区域内的花岗岩风化物发育土壤易于发生中度或高度富铁铝化作用, 从而易于发育形成铁铝层或低活性富铁层; 在

气候温暖潮湿的区域物质在土体内淋溶淀积强烈,易形成黏化层;在气候干润的环境中,土体发育不强,则易于形成雏形层。玄武岩风化物属铁质富铝风化壳,其土体内氧化铁(23.44%)和氧化铝(36%)的含量较高<sup>[57]</sup>,其风化物发育土壤在热带区域易于发育成铁铝层。第四纪红色黏土由于是第四纪冰水沉积物,经历了沉积-风化以及冰期-间冰期旋回气候的叠加影响<sup>[58]</sup>,在干湿交替频繁的气候条件下,且受剧烈的地下水升降影响,干燥时土体收缩,有利于形成裂隙,而湿润或地下水上升时,土壤处于滞水还原环境,有利于 Fe<sup>3+</sup>还原形成可溶、易移动的 Fe<sup>2+</sup>,促使铁离子随水向下迁移,最终形成红白相间的网纹结构<sup>[59-60]</sup>。

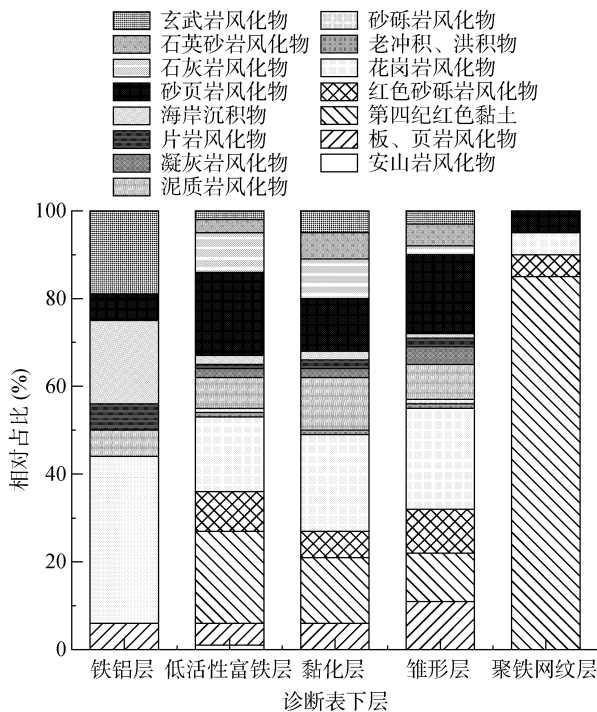


图 3 不同母质发育土壤诊断层统计

Fig. 3 Proportions of diagnostic horizons of soils derived from different parent materials

### 3.2 富铁铝化土壤的高级分类单元

通过整理 492 个调查的富铁铝化单个土体高级分类单元,得出其共涉及铁铝土、变性土、富铁土和淋溶土等 7 个土纲,包含 13 个亚纲、30 个土类和 74 个亚类(表 1)。其中淋溶土、富铁土和雏形土检索频率较高,分别为 34%、31% 和 29%;亚纲中检索频率最高为“湿润”类型(90%),此外在云南、四川和福建等地区检索出“干润”类型;土类中检索类型频率排序为:铝质(26.0%)>铁质(22.5%)>黏化(17.0%)>筒育(15.7%)>酸性(12.0%)>湿润(2.4%)>黄色/钙质(1.0%)>富铝(0.8%)>暗红/黏磐(0.6%)>暗色/强育

(0.2%);亚类中检索类型频率排序为:普通(41.7%)>红色(15.1%)>黄色(13.2%)>腐殖(7.2%)>斑纹(5.5%)>铁质/表蚀(3.0%)>石质(2.5%)>盐基(1.8%)>铝质/酸性(1.6%)>网纹(1.4%)>暗红(1.2%)>黏化/棕色(0.6%)。

表 1 富铁铝化土壤在中国土壤系统分类高级分类单元归属统计

土纲	亚纲	土类	亚类
铁铝土	1	3	5
变性土	1	1	1
富铁土	3	8	23
淋溶土	3	8	22
雏形土	4	9	21
新成土	1	1	2
合计	13	30	74

在土壤发生分类中,中高度富铁铝化土壤归属于红壤、赤红壤和砖红壤 3 个土类。由于土壤发生分类是以地带性的成土环境以及推测的成土过程为划分原则的定性分类系统,且划分依据主要为地理区域和气候环境,划分方法主观性较强。而土壤系统分类是以土壤内在理化属性为基础,通过诊断层和诊断特性进行划分的定量分类系统。因此在发生分类与土壤系统分类进行参比时,常呈现出非一一对应关系。但由于成土环境对土壤发生有着显著影响,且推测的成土过程对土壤发育程度有着较强的指示作用,因而两个分类系统在参比时存在优势对应关系(图 4)。在所调查的 492 个富铁铝化土壤中,红壤土类主要参比到系统分类中的淋溶土(35%)、雏形土(32%)和富铁土(28%),赤红壤主要参比到富铁土(43%)、淋溶土(26%)和雏形土(26%),砖红壤主要参比到淋溶土(38%)、富铁土(28%)、铁铝土(17%)和雏形土(17%)。随着富铁铝化程度的加深,参比到富铁土和铁铝土的比例相应增加,而系统分类中的新成土则大多对应发生分类中的红壤性土(83%)。

### 3.3 富铁铝化土壤的基层分类单元

土壤系统分类的基层分类单元是高级分类单元的续分,主要反映区域性成土环境和小尺度时间作用的结果<sup>[5]</sup>。土族划分指标主要以区域性成土环境影响下的相对稳定的土壤属性为依据,如影响物质和水分运移的土壤颗粒大小,反映土壤发育过程和强度以及养分保持能力的土壤矿物类型等,其控制层段一般为诊断表层以下至 100 cm 以内<sup>[54]</sup>。通过对 12 个省(直辖市、自治区)调查的 492 个富铁铝化土壤土系资料

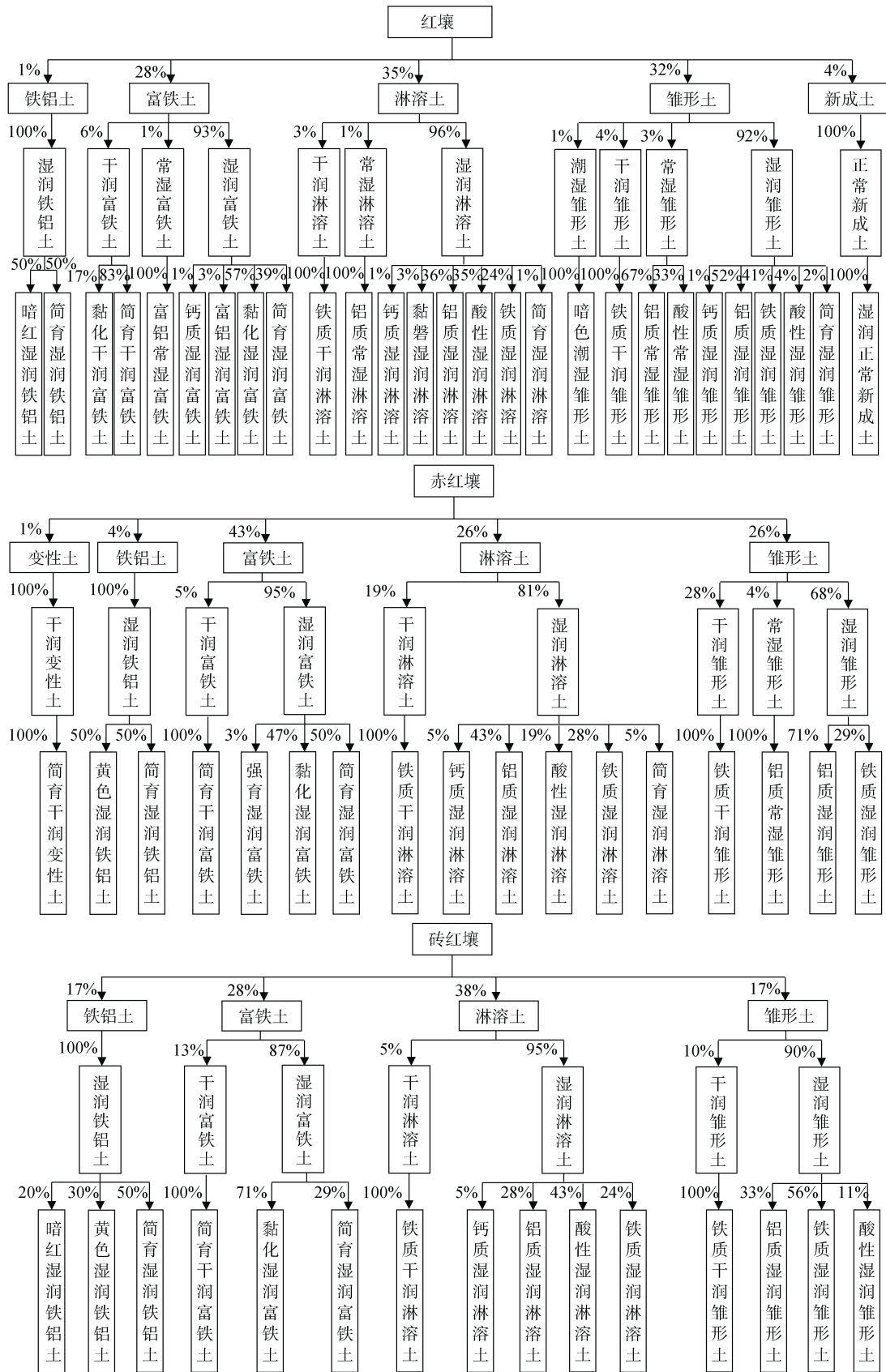


图 4 富铁铝化土壤在系统分类高级分类单元中的参比  
Fig. 4 References of higher taxa of ferrallitic soils in Chinese Soil Taxonomy

进行整理，共建立了 367 个土族。492 个代表性单个土体的土壤颗粒大小级别类型以黏质和黏壤质为主，其检索频次分别为 163 次和 148 次；土壤矿物类型以硅质型或硅质混合型为主(245 次)，其次是高岭石或高岭石混合型(148 次)；土壤酸碱反应和石灰类别以酸性为主(382 次)，仅在石灰岩风化物 and 红色砂砾岩风化物发育的土壤中检索出石灰反应；土壤温度类型以热性为主(354 次)，在纬度较低的热带区域则以高热性为主(132 次)。不同母质发育土壤的颗粒大小级别差异显著(图 5)，其中粗骨类土壤颗粒级别主要为板岩、页岩、石英砂岩和砂页岩风化物发育土壤，海岸沉积物发育土壤土族颗粒大小级别均为砂质，花岗岩和红色砂砾岩风化物发育土壤颗粒大小级别以黏壤质为主，片岩、玄武岩、石灰岩风化物和第四纪红土母质发育土壤的颗粒大小级别以黏质为主，相对占比均大于 45%，其中玄武岩、石灰岩风化物和第四纪红土母质发育土壤存在一定量的极黏质。不同母质发育土壤的矿物学类型也存在较大差异(图 6)，海岸沉积物发育土壤矿物学类型均为硅质型，花岗岩、片麻岩、凝灰岩、板页岩、石英砂岩、砂页岩和红色砂砾岩风化物发育土壤矿物类型均为硅质或硅质混合型为主，相对占比均大于 50%，玄武岩、石灰岩和第四纪红土母质发育土壤矿物学类型以高岭石或高岭石混合型为主，相对占比均大于 40%，千枚岩风化物发育土壤矿物学类型以云母混合型为主，相对占比为 80%。

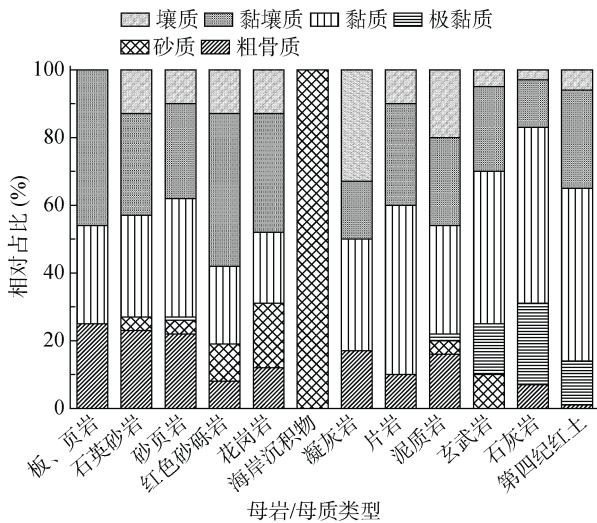


图 5 不同母质发育土壤土族控制层段内土壤颗粒级别大小  
Fig. 5 Proportions of particle-size classes derived from different parent materials in control sections of soil families

系统分类的土系和发生分类的土种存在一定的内在联系，两者之间可以进行类似的参比<sup>[61]</sup>。从南

方 12 个省(直辖市、自治区)的土种数量与已建土系数量比较看，已建的富铁铝化土壤的土系 492 个，涉及 259 个土种(图 7)。各省(直辖市、自治区)富铁铝化土壤建立土系与本省(直辖市、自治区)富铁铝化土壤土种数占比介于 16%~100%，平均占 42%，其中，湖南、湖北、福建、广东、广西、贵州、海南、江西、四川、云南、浙江和重庆各建立 89、12、51、49、46、7、35、98、11、58、35 和 1 个土系，包含 25、6、31、45、26、7、14、28、7、50、19 和 1 个土种，分别占本省(直辖市、自治区)富铁铝化土壤土种数的 23%、16%、69%、23%、34%、41%、26%、33%、23%、45%、66% 和 100%。从本次调查涉及的富铁铝化土壤土种数占第二次土壤普查建立的土种数比

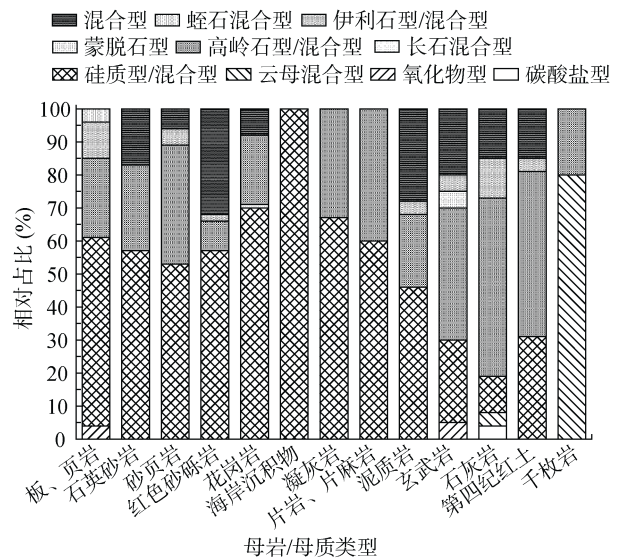


图 6 不同母质发育土壤土族控制层段内矿物学类型  
Fig. 6 Proportions of mineralogy types derived from different parent materials in control sections of soil families

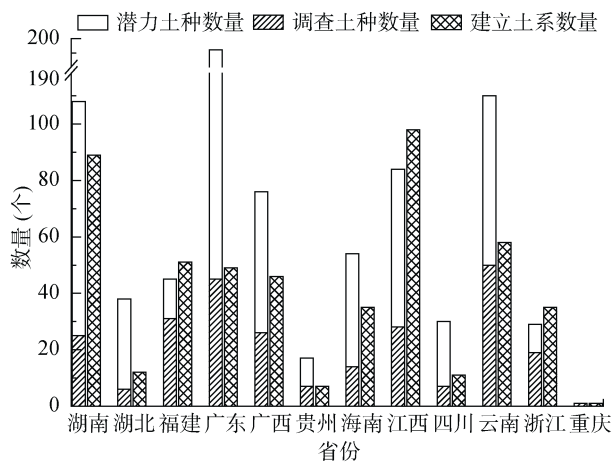


图 7 我国南方 12 个省(直辖市、自治区)土系调查与建设情况  
Fig. 7 Survey and construction of soil series in 12 provinces of southern China

例来看, 湖南、湖北、广东、广西、海南、四川和江西的土系调查和建设潜力较大, 仍需加强对该区域的富铁铝化土壤土系建立研究。

根据富铁铝化土壤的发生特性与成土环境, 参照《第三版》<sup>[22]</sup>检索, 其在系统分类中可能涉及的亚类数量包括 168 个, 其中铁铝土和富铁土的全部亚类 78 个, 干润/湿润变性土中石质和普通亚类 4 个, 淋溶土、锥形土中铝质、铁质、酸性和部分筒育亚类 79 个以及扰动人为新成土中酸性、普通亚类和红色/干润/湿润正常新成土中石质、普通亚类 7 个(图 8)。已建的相关 492 个土系共涉及铁铝土、变性土、富铁土等 6 个土纲, 湿润铁铝土、干润变性土、干润富铁土等 13 个亚纲, 暗红湿润铁铝土、黄色湿润铁铝土等 30 个土类, 以及普通暗红湿润铁铝土、腐殖黄色湿润铁铝土等 74 个亚类, 亚类覆盖率为 44%, 其中淋溶土和锥形土覆盖率较高, 分别为 56% 和 50%, 而变性土、新成土、铁铝土和富铁土的覆盖较低(25%、29%、31% 和 37%)。从高级分类单元建立的土系数量来看, 湿润淋溶土、湿润富铁土和湿润锥形土中建立土系数量较高, 土系建立数量分别为 157 个、141 个和 127 个, 而湿润铁铝土、干润变性土、干润/常湿富铁土、干润/常湿淋溶土、潮湿/常湿锥形土和正常新成土的土系建立数量较少, 这有待于后期研究的补充。

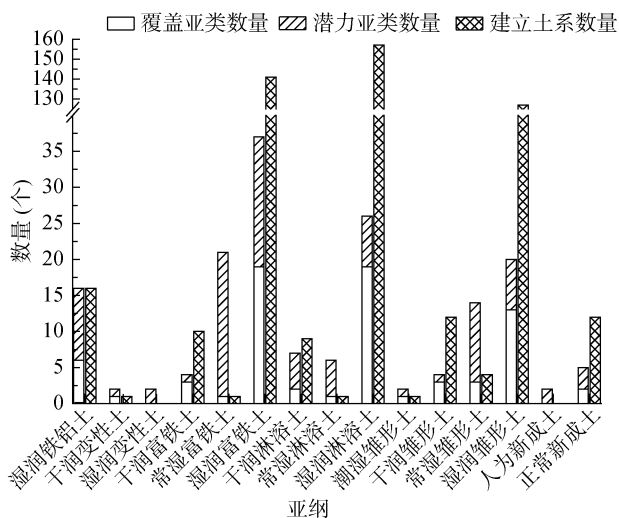


图 8 南方富铁铝化土壤在系统分类中土系建立情况

Fig. 8 Soil series establishment of ferrallitic soils in Chinese Soil Taxonomy

## 4 展望

我国土壤分类研究特别是基层分类单元建设道路较为艰辛, 先后经历了 20 世纪 30 年代至 50 年代

马伯特的土系制, 20 世纪 50 年代以后的发生分类土种制, 以及 20 世纪 90 年代至今的中国土壤系统分类土族与土系制。随着研究的深入, 使得我国土壤分类从定性走向了定量, 从国内走向了国际。特别是最近 20 年来, 基于中国土壤系统分类新标准(《第三版》<sup>[22]</sup>和《中国土壤系统分类土族与土系划分标准》<sup>[5]</sup>)进行的“我国土系调查和《中国土系志》编制”调查与实践工作, 将我国土壤系统分类研究推向了新的阶段, 同时也获得了大量的研究成果, 如出版了系列《土系志》专著<sup>[24-35]</sup>。但随着土壤系统分类调查和研究工作的不断推广与深入, 面对我国复杂多样的土壤类型, 仍有大量的工作有待深入研究。

### 4.1 进一步规范土系划分和描述标准

在 2013 年制定的《中国土壤系统分类土族与土系划分标准》<sup>[5]</sup>中, 较为详细地规定了土系划分的原则与步骤, 之后建立的土系相对较为规范, 避免了以往存在的土族划分指标缺乏、命名格式等问题<sup>[62]</sup>以及土系描述方面存在的特征与变幅不全或冗余、对比土系不适宜或鉴别不准确、土壤利用性能描述没有针对性等问题<sup>[63]</sup>。但在土系划分标准上仍有待进一步规范与完善, 如位于同一冲积平原和山谷地带的潮湿锥形土, 不同土体的剖面质地构型存在显著差异, 这一特征可以考虑纳入土系划分依据; 位于同一山地丘陵的不同土系, 地名时常仅有一个, 其坡向、坡位、植被类型或母岩类型可以考虑用于命名土系, 以进一步细化和提高富铁铝化土壤基层分类的科学性与规范性。

### 4.2 进一步加强新土系建立

我国南方富铁铝化土壤分布面积广, 类型复杂多样, 从上述统计的调查土种数量(调查的土种 259 个, 仅占总土种数 788 个的约 33%)和土系建立覆盖的土壤类型(亚类覆盖率仅 44%)两个方面来看, 关于富铁铝化土壤的土系数量还不够。在调查土种数量占比上, 除重庆、浙江和福建外, 其余省份的占比均小于 50%, 特别是湖南、湖北、广东、海南和四川等区域需加强土系调查和建设力度, 尽可能多覆盖富铁铝化土壤涉及的土种类型。在土壤类型覆盖率上, 变性土、新成土、铁铝土和富铁土的亚类覆盖率均低于 40%, 仍有较大的建设潜力, 尤其是没有土系的亚类亟待补充建设土系。总体上来看, 目前我国南方富铁铝化土壤土系建立数量还不够, 在今后较长的时间里, 关于其新土系的建设工作仍是土壤系统分类研究的重要方向。

### 4.3 加强新技术新方法在土系建立中的应用

近年来,随着新技术和新方法的蓬勃发展,为土系调查与建设提供了新的机遇。在今后的土系调查与建设过程中应加强新技术和新方法的应用,如应加强星地遥感和近地探测传感等新技术和数值化自动分类系统等新方法的运用,将调查分析工作从人工实验逐步过渡到机器自动获取,将检索分类方法从人为主观转变为系统客观。

### 4.4 加大和扩展土系建立成果的运用

土壤基层分类单元划分特别是土系建立的成果运用主要集中在以下几个方面:①在土壤制图和土壤信息数据库建设中的运用。如利用土系划分时获取的聚合土体时空和理化数据,绘制大比例尺土壤图以及建立网络化和多时空属性的土壤数据库,可为土壤时空研究以及过程模拟提供支持。②在土地利用与评价方面的运用。土系描述是对土壤综合性能的全方位“体检”,在土壤资源利用与评价中,特别是区域性的名特优农产品生产与开发,应充分利用土系描述资料,建立基于土系的土壤质量评价体系。③在生态保护与预警方面的运用。通过土系数据库,建立微区域的土壤环境-生态景观定量模型,运用模拟生态过程实现小区域生态环境预警,为环境保护和生态文明建设提供土壤数据支撑。④在其他学科、工程建设以及物证溯源上的应用。如利用土系数据(黏磐、钙磐等诊断层出现的深度和厚度)可估测考古发掘时的工程量与造价,指导住宅区、交通运输线路、化粪池处理场等相关工程的建设,还可运用时空理化数据(经纬度、土壤矿物组成和颜色等)为法庭土壤物证溯源提供辅助。

### 参考文献:

- [1] 张甘霖,朱阿兴,史舟,等. 土壤地理学的进展与展望[J]. 地理科学进展, 2018, 37(1): 57-65.
- [2] 龚子同. 土壤发生与系统分类[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] WRB I W, Schad P, Hu C V, et al. World reference base for soil resources 2014, update 2015[EB/OL]. 2015
- [4] Soil Survey Staff in USDA. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed[M]. Washington: United States Government Printing Office, 2014.
- [5] 张甘霖,王秋兵,张凤荣,等. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 826-834.
- [6] 周勇,徐能海,王庆云,等. 湖北省土系简介[J]. 湖北农业科学, 2000, 39(3): 35-37.
- [7] 周勇,王庆云,张海涛,等. 湖北省土系的应用实践——以典型土系为例[J]. 土壤, 1999, 31(2): 3-5.
- [8] 龚子同. 海南岛土系概论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 赵其国. 红壤物质循环及其调控[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [10] 章明奎,魏孝孚,厉仁安. 浙江省土系概论[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [11] 黄金良. 基于 CST 和 GIS 的闽东南土壤基层分类研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2001.
- [12] 杨帆. 儋州市土系划分的理论和实践[D]. 海口: 海南大学, 2011.
- [13] 张义,张杨珠,盛浩,等. 湘东大围山地区板岩风化物发育土壤的发生特性与系统分类[J]. 湖南农业科学, 2016(5): 45-50.
- [14] 欧阳宁相,张杨珠,盛浩,等. 湘东地区板岩红壤在中国土壤系统分类中的归属[J]. 湖南农业科学, 2017(4): 68-74.
- [15] 欧阳宁相,张杨珠,盛浩,等. 湘东地区花岗岩红壤在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤, 2017, 49(4): 828-837.
- [16] 欧阳宁相,张杨珠,盛浩,等. 湘东地区紫色土在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤通报, 2017, 48(6): 1281-1287.
- [17] 欧阳宁相,张杨珠,盛浩,等. 湘东第四纪红色黏土发育的典型土壤在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤, 2018, 50(4): 841-852.
- [18] 罗卓,欧阳宁相,张杨珠,等. 大围山花岗岩母质发育土壤在中国土壤系统分类中的归属[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(3): 301-308.
- [19] 于康,欧阳宁相,张杨珠,等. 郴州市典型土壤的发生特性及其在中国土壤系统分类的归属[J]. 农业现代化研究, 2019, 40(1): 169-178.
- [20] 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: 首次方案(馆藏)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [21] 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(修订方案)[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类. 中国土壤系统分类检索[M]. 3 版. 合肥: 中国科学技术大学, 2001.
- [23] 王庆云,徐能海. 湖北省土系概要[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997.
- [24] 王天巍. 中国土系志·湖北卷[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [25] 麻万诸,章明奎. 中国土系志·浙江卷[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [26] 章明奎,麻万诸. 中国土系志·福建卷[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [27] 卢瑛. 中国土系志·广东卷[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [28] 漆智平,张甘霖. 中国土系志·海南卷[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [29] 张杨珠,周清,盛浩等. 中国土系志·湖南卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [30] 章明奎. 中国土系志·贵州卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [31] 王天巍,陈家赢. 中国土系志·江西卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.



- [32] 黄标, 卢升高. 中国土系志·云南卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [33] 卢瑛, 韦翔华. 中国土系志·广西卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [34] 慈恩. 中国土系志·重庆卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [35] 袁大刚. 中国土系志·四川卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [36] 陈志诚, 赵文君. 我国铁铝土的分类[J]. 土壤, 1989, 21(2): 75-79.
- [37] 史学正, 龚子同. 我国热带亚热带玄武岩发育土壤的系统分类研究//龚子同. 中国土壤系统分类进展[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 75-83.
- [38] 章明奎, 俞震豫, 王人潮. 我国亚热带中晚更新世沉积物上发育土壤的特性和分类//龚子同. 中国土壤系统分类进展[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 84-90.
- [39] 赵文君, 陈志诚. 海南岛主要土壤的类型鉴别与检索//龚子同. 中国土壤系统分类进展[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 91-104.
- [40] 陈志诚, 李志先. 按《中国土壤系统分类(首次方案)》的广西大明山土壤类型//龚子同. 中国土壤系统分类进展[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 120-129.
- [41] 陈志诚, 赵文君. 谈《中国土壤系统分类(首次方案)》中的红壤//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 170-178.
- [42] 赵文君, 陈志诚. 富铁铝化土壤 CEC<sub>7</sub> 与 ECEC 的相关性//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 179-182.
- [43] 章明奎, 厉仁安. 浙江省铁铝土的系统分类研究//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 201-206.
- [44] 庄卫民. 福建铁铝土亚纲划分的试探//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 213-217.
- [45] 周勇, 蔡崇法, 王庆云. 我国中、北亚热带过渡区土壤属性及其系统分类研究//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 224-231.
- [46] 蒋梅茵, 杨德涌, 包梅芬, 等. 广西大明山土壤的矿物特性及其在土壤系统分类中的指标//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 232-241.
- [47] 周明枏. 关于土属划分的原则、依据和鉴别指标探讨//龚子同. 中国土壤系统分类探讨[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 232-229.
- [48] 周明枏. 土种单元划分的原则、依据和方法//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 408-417.
- [49] 罗家贤, 杨德涌, 包梅芬, 等. 长江以南主要土壤的土纲和土属的矿物分类指标研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 193-198.
- [50] 龚子同, 张甘霖, 骆国保. 世纪之交对土壤基层分类的回顾和展望[J]. 土壤通报, 1999, 30(专辑): 5-9.
- [51] 徐礼煜. 试探我国红壤丘陵区土种的划分//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 444-449.
- [52] 黄承武, 罗尊长. 湖南省第四纪红土发育的自型土土种土属的划分//龚子同. 中国土壤系统分类新论[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 450-453.
- [53] 王秋兵, 王晶媚, 韩春兰. 将土种资料转化为土系的必要性与可行性分析[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 17-22.
- [54] 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.
- [55] Tan P C, Oberhardt N, Dypvik H, et al. Weathering profiles and clay mineralogical developments, Bornholm, Denmark[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 80: 32-48.
- [56] Birkeland P W. Pedology, Weathering and Geomorphological research[M]. London, New York and Toronto: Oxford University Press, 1974.
- [57] 龚子同. 中国土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [58] Hu X F, Du Y, Liu X J, et al. Polypedogenic case of loess overlying red clay as a response to the Last Glacial-Interglacial cycle in mid-subtropical Southeast China[J]. Aeolian Research, 2015, 16: 125-142.
- [59] 朱景郊. 网纹红土的成因及其研究意义[J]. 地理研究, 1988, 7(4): 12-20.
- [60] Hong H L, Gu Y S, Yin K, et al. Red soils with white net-like veins and their climate significance in South China[J]. Geoderma, 2010, 160(2): 197-207.
- [61] 杜国华, 张甘霖, 龚子同. 土种与土系参比的初步探讨——以海南岛土壤为例[J]. 土壤, 2004, 36(3): 298-302.
- [62] 李德成, 张甘霖. 中国土壤系统分类土系描述的难点与对策[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1563-1567.
- [63] 易晨, 马渝欣, 杨金玲, 等. 中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1166-1172.