

中国土壤地理学发展的回顾与展望*

张甘霖[†] 史学正 龚子同

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘要 基础土壤地理学的核心内容是土壤在时间和空间中的变化, 目标是预测土壤在生态系统中的行为以及在自然和人为影响下的演变、实现土壤资源的有效管理。我国土壤地理学的发展经历了几个重要阶段, 20 世纪 50 年代区域和全国性的土壤调查和综合考察奠定了我国土壤地理学的发展基础; 20 世纪 80 年代随着全国第二次土壤普查的开始和科学研究恢复, 土壤地理学重新复兴, 包括土壤发生、土壤分类、土壤制图、土壤遥感等各个分支学科在内的土壤地理学得以迅速发展, 这其中 1984 年开始的“中国土壤系统分类”研究贯穿了此后 20 多年的发展历程并推动了相关学科的进步; 20 世纪 90 年代以后, 以 3S 技术为代表的新技术和新方法全面促进了土壤地理研究的现代化, 土壤空间变化描述的内容、方式、应用等都发生了重大变化。未来的土壤地理学研究将面对我国土壤资源制约的国情, 重点应该围绕变化中的自然条件和强烈的人为干扰下土壤质量与功能的演变、以土系为主体的土壤基层分类体系、以信息技术和模型模拟相结合的土壤资源数字化表达与管理系统等中心内容, 为我国土壤资源的可持续管理、环境保护以及应对全球环境变化服务。

关键词 土壤地理学; 土壤发生学; 土壤制图; 土壤信息系统; 回顾; 展望
中图分类号 S159 **文献标识码** A

1 土壤地理学的基本内涵与分支

土壤圈是地球表面最重要的圈层系统, 它既是岩石、大气、水圈和生物圈共同作用的产物, 又维系全球陆地生物圈的存在。土壤圈同时又是具有多尺度结构的地球表层系统, 它包括从分子—有机无机复合体—团聚体—土层—单个土体—土链—区域土被—土壤圈这样的多级组分, 这实际上决定了土壤过程研究的多尺度性和极端复杂性, 同时暗示着以土壤“本身”为对象的土壤地理学研究的重要内容之一就是探索由上述结构所决定的空间变异性。

土壤地理学是土壤学与地质学、地理学、地球化学、生态学等学科的交叉学科。土壤地理学是最直接地提供土壤本身信息的科学, 是理解土壤圈的去历史和预测它的未来、描述它的空间特征和三维变异的基础学科分支, 时间和空间中的土壤变化是土壤地理学的核心内容。因此, 土壤地理学同时

还是整个地球系统科学、特别是地球表层系统科学中的重要基础, 在理解人地关系中具有重要的地位。土壤地理学的主要目的在于理解和回答诸如“土壤是什么”, “为什么如此”, “如何演变”等问题, 即研究土壤的形成机理和演变过程、这些过程在预测和估计未来土壤变化中的作用; 研究土壤形态特征、物理和化学属性及系统分类; 不同尺度下土壤的分布模式和规律及定量表达; 土壤和景观信息的收集、记录和表达以及与此相关的信息技术基础。所有这些, 最终的目的是尽可能准确地“预测”土壤在生态系统中的行为以及在自然和人为影响下的演变。

从应用的观点看, 土壤地理学是理解土壤资源的基础。正确理解和认识土壤的形成演变过程和这种变化的影响因素, 可以为预测土壤的变化提供依据, 并可从中获得正确的管理启示, 从而永续地利用脆弱而珍贵的土壤资源。划分和记录不同土壤的空间和属性信息, 可以为合理规划和配置利用区域土壤资源提供基础信息, 并为预测和估计土壤

* 国家自然科学基金项目(40625001)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-409)资助

[†] 通讯作者, E-mail: glzhang@issas.ac.cn

作者简介: 张甘霖(1966~), 男, 博士, 研究员, 从事土壤发生、分类和土壤地理研究

收稿日期: 2008-06-11; 收到修改稿日期: 2008-06-23

圈对全球变化的影响提供最直接的依据。

在全球变化和我国土壤资源利用和保护方面,土壤地理学应该而且也可以发挥关键的作用。全球生物地球化学循环,特别是C、N、P、S等与生命过程和全球环境密切相关的元素循环图景的勾勒,需要国家、区域尺度的土壤资源数据库支持;土壤资源演变特别是退化过程和空间分布的趋势需要详细的土壤分布信息作为基础,这些都是土壤地理学研究发挥作用的重要舞台。

2 中国土壤地理研究的重要发展阶段概述

我国现代土壤学研究开始于二十世纪三十年代。当时美国土壤学家J. Thorp和R.L. Pendelton都曾经在中国工作,对土壤地理学在中国的传播和发展起到了重要的作用。J. Thorp的“中国之土壤”^[1]的出版更是促进了我国土壤(地理)学的发展。而早期我国土壤学家对水稻土就开始了比较深入的研究,指出水稻土的形成过程不是灰化作用,纠正了一些错误的观点,是当时土壤发生学领域取得的一个重要成就^[2]。

2.1 以综合考察为主的区域土壤调查阶段(1950年至1978年)

20世纪50年代开始,为配合国民经济建设开展了大规模的综合考察、流域规划和专题的土壤调查,其中包括华南、滇南橡胶宜林地的调查,黄河中游水土保持调查,黄河中、下游及长江流域土壤调查,东北土壤调查和黑龙江流域考察,华北平原土壤调查以及甘、新、青藏综合考察,还有南水北调西部地区考察等。

通过这些考察和土壤调查,形成了一些代表性的成果,主要体现在反映当时土壤分类和分布认知的《中国土壤区划》^[3]、《中国土壤发生类型及其地理分布》^[4]和1:400万中国土壤图、《新疆土壤地理》^[5]及新疆1:100万土壤图。

通过上述工作建立了一支土壤地理的队伍,如中国科学院南京土壤研究所中的土壤地理组发展成为土壤地理研究室。在中国的各所农业大学中均有土壤农化系的土壤地理教研室。

1958至1959年间,开展了以县为单位、以耕地为中心的全国土壤普查。同时,在“以粮为纲”的指导思想下进行农业土壤的调查和土壤改良工作。20世纪60年代后期,虽然处于“文革”时期,但出于国

家的需要,也开展了一些非常有意义的工作,如西藏和西沙群岛考察等,并随后出版了全国1:250万和1:400万农业土壤图、1:400万农业土壤肥力图 and 《中国农业土壤志》^[6]、《西藏的土壤》^[7]、《我国西沙群岛土壤和鸟粪磷矿》^[8]、《中国土壤》^[9]等重要著作。

总的来说,1950年以后,在俄罗斯学派的影响下,在土壤地理学研究中地带性学说和地带性分类占主导地位。之后以土壤资源调查和水土保持调查为主的应用基础研究极大地促进了土壤地理学各个分支的发展。针对热带亚热带地区、东北、青藏高原、黄淮海地区等多个区域的专门土壤研究构成了这一时期我国土壤地理研究的主体,并在此基础上逐步明确了中国土壤发生、分类和分布的基本图景。

2.2 服务全国第二次土壤普查和学科恢复阶段

1978年以后,国家科学研究逐步走入正轨。随着第二次全国土壤普查的开展,我国的土壤地理研究遇到了良好的发展机遇,土壤采样计划(土壤空间变异)、土壤形态学(描述)、土壤分类、土壤制图、土壤资源评价等所有土壤地理学领域都充分地发挥了作用,为该项计划的人才培训、计划实施、成果总结做出了重要的贡献,而自身也得到了很大的发展,特别是在土壤基层单元建立、小比例尺全国土壤制图等方面取得了明显的进展^[10]。与此同时,学科建设方面也得到了发展。由于遥感技术在土壤调查中广泛的应用前景,土壤遥感及其在土壤资源调查、土壤制图、水土保持、资源评价等的应用也得到长足的进步,为后来土壤遥感与信息系统的普及和发展奠定了坚实的基础^[11,12]。

在全国土壤调查工作中,原有的地带性土壤分类的问题也更加突出,这为后来开展定量土壤分类研究提供了契机。1984年,在中国科学院南京土壤研究所的主持下,组织全国的广大同行,开始了历时20多年的“中国土壤系统分类”研究。应该说,中国土壤系统分类研究的意义不仅在于建立新的分类体系,同时对土壤发生学、土壤形态学、土壤制图等诸多土壤地理学分支学科都产生了积极的推动作用,成为近20多年来我国土壤地理学最活跃的领域^[13]。

2.3 新思想和新技术引导下的学科全面发展阶段

自20世纪90年代以来,随着全球变化问题的日益突出,人类活动对全球环境变化的贡献以及这种变化与土壤资源演变之间的互相作用,逐渐得到

重视^[14],这也在很大程度上引导了我国土壤地理学的发展。借助遥感、地理信息系统以及全球定位系统技术的发展,土壤资源研究越来越强调量化的手段和方法。这一时期,在土壤系统分类研究继续深入的同时,多种遥感数据在土壤资源调查和评价中的应用研究及相关技术发展迅速;随着土壤资源数据库研究如 SOTER (Soil and Terrain Digital Database,土壤与地体数据库)在全球范围内的兴起^[15],我国在海南等地陆续开展中比例尺的 SOTER 研究^[16,17],并为区域土地资源的可持续利用提供了重要的依据。在全国土壤普查获得的 1 100 万土壤图的基础上,对该土壤图进行了数字化处理,初步建成了小比例尺的土壤信息系统^[18]。在这一时期,伴随土壤质量概念的引进和传播,土壤质量演变与调查及制图也是我国土壤地理学研究的重要内容。

3 中国土壤地理学的重要发展

3.1 土壤发生与分类

3.1.1 解放初期的土壤发生分类研究 1949 年以后,随着国民经济的恢复与发展,开展了大规模的土壤资源考察,如华南橡胶宜林地考察,黄河中游水土保持调查,新疆综合考察,西藏考察,黑龙江流域考察以及华北平原的土壤调查,积累了丰富的资料,也出现了一批代表性的研究论文^[7,19~22],在土壤发生研究上打下一定基础。但在土壤分类研究上属于苏联土壤地理发生分类范畴。在 1954 年全国土壤学会代表大会上所拟订的土壤分类,第一次正式采用此种以成土条件为依据,以土类为基本单元的五级分类制,即土类、亚类、土属、土种和变种 5 级。格拉克西莫夫和马溶之合著的《中国土壤发生类型及其地理分布》一书的出版^[4],系统地将苏联地理发生分类介绍到中国来,此后,经研究陆续提出了一些新土壤类型,如黑土、白浆土、黑垆土、砖红壤性土、灰棕荒漠土和棕色荒漠土以及过渡地带的黄棕壤、砖红壤性红壤等。通过中苏黑龙江流域考察纠正了误认为苏联远东地区和中国东北地区的白浆土是灰化土的错误。实际上,这种土壤的形成与黏性母质造成的特殊水分条件有关,主要形成过程是以铁锰淋溶为特点的“白浆化”过程,而不是灰化过程。同时,经过研究,宋达泉等^[23]将我国东北形成于湿润气候条件下、富含有机质、而无碳酸钙积聚的草原土壤正式命名为黑土,以区别于俄罗斯形成于半干旱条件下、富含碳酸钙的草原

土壤——黑钙土。西北黄土高原分布着一种腐殖质深厚而有机质含量低、具有特殊的假菌丝状碳酸盐淀积,并具有黏化特征的土壤。朱显谟等将这种古老的耕种土壤称为黑垆土^[24],以区别于过去误称的栗钙土。

李庆逵基于对红壤化学性质的研究,将我国热带海南岛高度富铝化土分类为砖红壤性土,以区别于黏粒 SiO_2 / Al_2O_3 在 1.33 以下的典型砖红壤^[25]。马溶之阐述了我国干旱土壤形成特点^[26],他提出温带干旱区的灰棕荒漠土的形成中,易溶盐和石膏主要是积累过程,但有季节性的上下移动现象;而暖温带的棕色荒漠土石膏和易溶盐类在剖面上部的积累特别明显。

3.1.2 土壤普查后的土壤发生和分类研究 1958 年在我国全国范围内开展了以耕地为主的土壤普查。各地土壤工作者广泛总结了农民群众土壤分类命名和土地利用的经验,尤其重视在长期耕作下的土壤及其形成过程。在水稻土研究先驱马溶之的组织领导下,龚子同、曹升赓、徐琪和雷文进等分别对华南、江西、太湖和里下河地区水稻土的发生演变作了进一步研究^[27~30],据此,马溶之指出:“耕作土壤的形成条件除自然因素外,还有人为因素,而当人为因素占主导时,土壤发育方向发生变化,……因而土壤的熟化作用成了耕作土壤的特殊过程”。王吉智研究宁夏地区灌淤土时,提出了灌淤土的熟化问题^[31]。值得注意的是,朱显谟根据他对黄土高原主要耕种土壤的研究,尤其对塋土这一古老耕种土壤的形成、分类的研究,出版了《塋土》一书,他指出:“塋土是劳动产物,生产资料和历史自然体”^[32]。该书的出版不仅纠正了将塋土误称为栗钙土的错误,同时也推进了耕种土壤研究。

由于对耕种土壤的特别注意,对耕种土壤分类讨论时,有的学者强调人为因素在土壤形成过程中作用的特殊性,认为耕种土壤已不同于自然土壤发生的特点,主张将耕种土壤和自然土壤作为两个独立的系统分开;有的学者重视耕种土壤和自然土壤形成的共同性,主张将耕种土壤在低级单中加以区分;更多的学者认为两者既有共性又有特殊性,应根据耕种土壤发育的阶段和程度不同,而置于统一分类系统中的不同级别上。

1978 年中国土壤学会在“文革”后,召开了第一次土壤分类会议。会上我国土壤工作者集思广益建立了统一的土壤分类——“中国土壤分类暂行草案”^[33],结束了长达 20 年的“耕种土壤”和“自然土

壤”之争,充实了水稻土分类,明确了灌淤土、塋土和黑垆土独立土类的位置,潮土也首次作为独立的土类划分出来。

在20世纪70年代,通过青藏高原的考察,揭示了青藏土壤形成的幼年性和多元发生的特点,丰富了高山土壤的分类;同时通过对我国南海诸岛的考察,剖析了其成土作用中积盐和脱盐、有机质积累和分解、磷的富集和运移过程,提出了磷质石灰土等一些新的土壤类型^[8]。热带、亚热带地区土壤发生和分类研究也一直得到重视,相继出版了《中国红壤》等总结性的专著^[20]。

1978年至1984年间,随着国际交往的增加,土壤系统分类和联合国图例单元传入我国,地理发生分类受到很大影响,1984年开始制定的全国土壤普查办公室的第二次土壤普查分类系统,土纲一级增加了人为土、干旱土和初育土,基层分类中也吸收了部分土系概念,最后出版了《中国土壤》^[34]和6本《中国土种志》^[35]。

3.1.3 中国土壤系统分类研究 1984年我国开始了中国土壤系统分类研究。发生分类在我国土壤科学发展和生产实际应用方面曾起过重要作用,现在还在继续起作用。但随着科学的进步,在实践中,发生分类显现出了一些不足之处。发生分类是建立在土壤发生假说基础上的,由于对土壤发生原因认识不同,同一种土壤常被人为地列入不同的归属,如20世纪50年代分不清灰化过程和白浆化过程,而误把白浆土和白浆化土壤称为灰化土;土壤地理发生分类重视生物气候条件,而忽视时间因素,常常将长期发生过程下形成的顶级土壤和成土过程短暂的幼年土壤归为一类,以致在土壤分类时曾出现过把四川紫色土归为黄壤土类的错误。地理发生分类强调中心概念,可以说出一个土类的定义,但土类与土类之间的边界并不清楚,缺乏定量指标,与现代信息社会不相适应。20世纪70年代是国际上土壤系统分类大发展的时代。而在此期间,我国的土壤分类研究工作却停滞了10年。

土壤学发源于温带人为作用强度不大的地区。像中国这样既有温带,又有热带,既有湿润区又有干旱区,既有自然土壤,又有大面积人为土的国家,其土壤类型的多样性在世界上罕见。因此,任何一个土壤分类都不可能完全适合于我国,我们必须立足国内,面向世界创建适合于中国实际的土壤分类。

在这样的背景下,在中国科学院和国家自然科学基金持续的支持下,由中国科学院南京土壤研究

所主持,先后有覆盖全国的38个科研单位和高等院校240多人参加,进行了长达20多年的中国土壤系统分类研究,这是中国土壤学家第一次自己制定的一个定量的土壤分类体系^[13,36]。

该研究通过拟订适合我国实际的诊断层和诊断特性,创建了一个以诊断层和诊断特性为基础的、全新的谱系式土壤分类,实现了我国土壤分类由定性向定量的跨越;通过创建一系列人为土诊断层,建立用以鉴别季风亚热带富铁土的活性富铁层,提出干旱表层代替干旱水分状况来定义干旱土,创立反映青藏高原土壤原始性的诊断表层—草毡表层等,科学地界定了我国特有的土壤类型,并为国际土壤分类提供了借鉴。特别值得指出的是,中国土壤系统分类研究重点剖析了各种人为土壤发生过程,在此基础上建立了一系列人为土诊断层,在世界上首先建立了人为土纲的诊断体系,并被WRB完全接受,成为国际上人为土分类的标准^[37]。

3.2 土壤制图

土壤制图是土壤地理的主要内容之一,它包括土壤类型制图、土壤组合制图、土被结构制图以及新近发展起来的土壤—地体制图。实际上,制图对象可以包含更多的内容,如土壤物理和化学性质、肥力和其他评价结果等,都可以以地理空间分布的形式表达。

我国常规土壤制图研究的发展经历了几个阶段^[38],即早期以区域性制图为主的初创阶段(20世纪30年代至40年代),以地带性学说为理论依据、不断充实土壤制图内容的阶段(20世纪50年代至60年代),和重视制图理论与方法研究、革新土壤制图体系,发展遥感与地理信息系统的阶段(20世纪70年代以后)。20世纪30年代,在分类上主要受美国Marbut分类的影响,县级以下的土壤图以土系为上图单元,县级以上的以土类为上图单元,但在小比例尺图上提出并应用了土区的概念。20世纪50年代深受前苏联土壤发生学观点和土壤地带性学说的影响,土壤制图发展到全面以土壤类型为制图单元的土壤类型图,改变了过去中、小比例尺土壤图以土区、亚区为单元的状况;同时,由于研究的深入,土壤类型的划分更为详细。1955年格拉西莫夫与马溶之合编的1:400万《中国土壤概图》明显地反映出土壤分类的发生学观点和我国土壤分布的地带性,体现了制图单元的转变。除土壤类型图之外,也开始了中大比例尺的土壤质地、养分含量、酸

碱度、碳酸钙含量等基本性质等的制图研究。由于过分强调土壤的地带性,难以确切地反映我国土壤复杂多变的客观实际,有些对耕作土壤的类型处理有不切实际的夸大。20世纪70年代中后期,随着基础和应用基础研究的逐步恢复,土壤制图工作包括土壤制图理论和方法的研究逐渐得到重视,提出了土壤制图体系的概念和划分,土壤组合发生的制图原则,以及单区和复区并重的制图表达方式^[39]。

到20世纪80年代中后期,已经编制了多幅全国和区域性的、多个比例尺的土壤图,其中运行系列成图方法编制的反映土壤学各分支学科成果的《中国土壤图集》^[40]是最具有代表性。在全国第二次土壤普查成果基础上编制的1:100万《中国土壤图》则是迄今为止最详细的全国性土壤图。遥感制图研究也有了极大的发展,开始利用卫星遥感数据编制区域性的土壤图和土地利用图^[41]。

自20世纪80年代中后期到20世纪90年代初开始,随着技术的不断进步,将地理信息与土壤信息结合起来的土壤地理信息系统显著地改变了传统制图的方式和内涵。由于计算机储存、计算与表达能力的迅猛发展,土壤图基本上成为土壤信息系统,原来纸质图所不能包含的大量属性数据直接在后台数据库中与空间数据库(地理信息系统)紧密结合,因此无论从制图方式、表达内容、包含的信息还是其应用的范围都有显著改变。土壤制图从此进入了信息时代。

3.3 土壤信息系统

我国土壤信息系统起步于20世纪80年代中期,近几年得到了快速发展。北京大学遥感中心1986年研制了土壤侵蚀信息系统,中国科学院南京土壤研究所1989年建成了东北三江平原土壤信息系统,这些工作都清楚地阐明了土壤地理信息系统的基本构成。进入20世纪90年代后,随着GIS技术发展及其在土壤信息系统中的广泛应用,我国土壤数据库的研究工作发展到了一个新阶段。1991年中国科学院沈阳应用生态研究所进行了区域土壤信息系统(RSIS)的建立和应用研究^[42]。1992年中国科学院南京土壤研究所基本完成了1:50万海南省SOTER数据库及制图工作^[16]。随着SOTER数据库理论与方法的引进,我国先后建立了全国1:400万的SOTER数据库,1:50万海南和苏南等地的SOTER数据库^[43],1998年在UNDP的支持下,南京土壤研究所联合华南热带农业大学应用和发展了SOTER理论及方法,并将海南省作为中国第一个

省级单元开展中比例尺(1:20万)SOTER的建立和典型地区示范研究^[17,44]。与此同时,不同比例尺红壤资源信息系统的研制也迅速开展起来,他们重点讨论了土壤数据库和土壤信息系统的建造技术,以及土壤信息系统在资源类型划分、资源适应性评价等方面的应用^[45~47]。

21世纪初期是我国土壤信息系统发展最快的时期。原有的全国1:400万的数字化土壤图,已不能适应学科和社会发展的需求。中国科学院南京土壤研究所初步建立了一个较为系统的中国土壤信息系统(Soil Information System of China, SISChina),建成了全国土壤空间数据库、土壤属性数据库和土壤参比数据库^[48]。土壤空间数据库包括全国尺度的1:1400万系列、1:400万系列、1:250万和1:100万数字化土壤图,区域尺度的1:50万、1:20万和1:5万数字化土壤图,以及土壤地球化学类型图和有效态微量元素图等,总计达1000余幅。土壤属性和参比数据库分别由全国7292个土壤剖面属性数据以及可与国内外不同分类系统的参比数据组成,土壤分析数据量达到100余万个,并由1:100万数字化土壤图集成了相同比例尺的数字化土壤pH值图和土壤黏粒分布图等10多种图件^[18]。同时通过全国1:100万数字化土壤图与7292个土壤剖面参比数据的集成,编制出分别基于美国土壤系统分类、国际土壤参比基础(WRB)和中国土壤系统分类的中国1:100万数字化土壤图,在国际上提出了基于多个土壤分类系统的建库理论,建成了全国性土壤类型齐全、数据量大、集成系统以及国际化程度较高的中国土壤信息系统^[49],成为FAO归一化国际土壤数据库(HWSD)的重要成员。为适应于网络化的需要,建成了基于WebGIS的中国土壤信息查询系统^[50],中国土壤发生分类与美国土壤系统分类和中国土壤系统分类的智能化网络参比查询系统^[51],促进了土壤及其相关学科的发展。

4 土壤地理学发展的展望

4.1 新形势下土壤地理学面临的挑战和机遇

我国的基本国情是人口众多,资源制约明显,土壤资源对我国可持续发展的制约同样严重。在全部土壤资源中,极端条件下的特殊土壤—如干旱、寒冷、石质、盐渍、滞水等不利于粮食种植的类型占了很大的比例。如何充分利用土壤资源,发挥其功能,是保障国家粮食安全和可持续发展的重要

部分。从另外一个角度来看,由于自然过程和人为作用的影响,土壤资源的退化十分严重,有效地防止退化对国民经济发展刻不容缓。作为土壤学的基础研究,土壤地理学在满足这些社会和经济发展的要求方面应该发挥作用。从资源总量的角度看,土壤资源清单的建立(包括系统分类)、土壤质量的监测和预警、土壤资源的数字化管理等,是合理利用和管理土壤资源的基础;从区域土壤资源高效利用的角度来看,精准农业管理需要高分辨率的土壤空间变异信息;从土壤演变的角度来看,在全球变化和加速人为活动背景下的土壤资源的动态变化过程,正是土壤发生学研究的重要内容。土壤地理学在这样宏观的背景下,应该提出新的研究方向,找到新的舞台,而其中心内容应该是土壤资源的系统信息及其演变趋势预测。

我国环境建设同样对土壤地理学提出了要求。土壤地理学的任务将是为环境和生态过程模拟提供不同尺度的空间土壤参数。服务的目标包括全球变化研究(如生物地球化学物质的储量和通量估计)、人为利用条件下土壤演变的生态环境效应研究(如侵蚀、气体排放)、生态过程研究(如流域养分输出的模拟)等涉及的土壤空间数据。为履行国际社会共同承担的保护全球环境的责任,全球的基础土壤信息是重要的支撑,而没有中国参加的全球计划无疑是不完整的,因此,我国土壤地理学在全球变化研究中重任在肩。

针对我国农业发展、环境保护、生态建设对土壤资源的需求,依据目前土壤资源演变的趋势和今后的发展预期,我国的土壤地理研究需要在土壤资源演变机理与人为调控机制研究、土壤资源清单的建立、土壤信息的快速实时获取技术体系的建设、数字化土壤处理与土壤资源管理系统的建立、区域土壤承载力与资源配置理论与技术,以及工程化的退化土壤恢复和修复技术等方面强化基础和应用基础研究,促进我国土壤资源的高效利用和管理,同时形成具有我国特色的土壤资源研究体系,造就和培养高水平的土壤资源研究队伍。

4.2 土壤地理学的发展趋势

土壤地理学的发展象其他学科分支一样,随着认识水平的提高和研究手段的进步,其发展总的趋势是在内容上更加注重因子之间特别是现代人一地之间的联系,在方法上从定性向定量转变,在解译和应用上更加注重模拟的能力。具体地来看,包括如下一些方面。

4.2.1 土壤演变过程与环境变化 景观中土壤的基本属性和行为决定于土壤本身的组成及其与环境之间的关系。随着研究的深入和手段的进步,微观、动态、综合、定量的过程研究逐步取代了以土体为尺度的静态对比研究。这些过程的深入研究特别是过程的速率和阈值,成为了解土壤与环境之间作用与反馈的重点^[52]。这些基本过程研究可以分为土壤中发生的基本物理、化学、生物和矿物学过程;有关土壤形成和演变过程的土壤系统内和土壤环境之间物质的增加、损失、转移、变化等现象和解释;土壤发生过程与环境因子之间的定性、定量关系;景观或生态单元内决定土壤表现的动态过程和模拟。

有几个方面的研究应该是当前和今后一个时期土壤演变过程研究的重点^[53],这其中包括(1)风化和土壤形成过程与全球生物地球化学循环,特别是全球环境变化背景下对风化以及土壤变化过程的速率影响;(2)土壤发生过程的模拟研究,对理解区域土壤分布和土体内物质的分配模式有重要的意义,特别是土体和景观尺度参数如何应用于区域或流域尺度,既是土壤发生学,又是生态学中的重要课题;(3)过去环境影响下的土壤演变,通过不同形成时期土壤属性—形态和微形态、物理、化学、矿物学以至同位素特征的比较和鉴别,可以追溯过去的环境变化,从而恢复古环境。我国有丰富的古土壤资源,在青藏高原、黄土高原、热带和亚热带地区都有一定的研究基础,系统和深入的研究可以为恢复过去环境特别是第四纪环境发挥重要的作用。

(4)人为土壤发生过程,了解不同利用条件下土壤的演变过程及其对土壤质量与功能的影响,为土壤资源的可持续利用寻找管理线索。未来的土壤演变研究需要从传统的注重自然发生过程的研究向人为影响下的土壤变化研究转变,在时间尺度上从万年、千年向百年、十年转变,在解译方向上从土壤的发生特性向土壤质量特征转变,包括质量提高过程和退化过程,从而为预测人类影响下土壤资源的变化趋势提供依据。

4.2.2 土壤分类 以诊断层和诊断特性为基础的系统分类以其定量化和标准化特点逐渐被世界各国认同。我国的土壤系统分类工作在过去十几年内取得了长足的进步,已经建立了“中国土壤系统分类”,成为今后土壤分类研究的新起点。

中国土壤系统分类已经建立了到亚类的高级单元,下一步应该在某些土纲深入研究的基础上,

完善我国土壤基层分类体系。以完整的土系调查和土系数据库建立为核心内容,为推动系统分类的应用奠定实质基础。同时,通过系统参比,为过去基层分类数据更新提供依据。

作为一个土壤资源丰富、土壤类型众多的国家,我国一直缺乏一个覆盖全国范围、以基层单元类型为核心的土壤类型数据库,制约了土壤资源的精确管理。以美国为例,22 000多个经过分类学上确认、有完整记录的土系构成了国家土壤信息系统(NASIS)属性数据的基础,也是其土壤资源清单的重要组成部分。我国在第二次土壤普查之后建立的2 000多个土种虽然在标准化、完整性上存在不足,但过去10多年来一直是各种尺度土壤资源评价的基础,缺乏更为详细和系统的数据基础。因此,面向全国,建立以基层分类(土系)为核心的土壤资源清单应该作为目前和今后一个时期土壤资源研究的重要内容。这样的清单不但能从详细的区域尺度上明确土壤的重要基本特征、生产潜力、利用的制约因子,也是土壤信息系统的核心属性数据来源。

4.2.3 土壤资源的数字化表达与应用研究 土壤属性空间变异的合理表达和模拟是区域土壤资源优化利用的基础,区域土壤空间变异的描述和定量表达因而是一个十分重要的理论和实际问题。虽然土壤—景观关系并不是全新的课题,但由于地理信息系统(GIS)和数字地形模型(DEM/DTM)的应用,有关土壤在景观中的分异与分布模式的分析开辟了新的途径。在数字化表达区域土壤空间变异的基础上,应用现代GIS、RS、GPS和模拟建模等相结合的手段,可以为环境模拟、农业精确管理提供技术支撑。

目前的研究重点是发展土壤资源数字化管理的技术体系,实现土壤资源的数字化管理。土壤信息的获取是土壤资源研究中的困难环节。传统上的实地采样、调查和制图、原位观测等,速度慢、耗费多,难以满足现代土壤资源管理的需要。现代光谱、遥感和信息技术的进步为快速、实时、动态、准确获取土壤信息提供了可能。土壤资源数字化管理技术体系应该包括三个主要的部分:

(1) 信息获取系统。以空天遥感、近地面遥感、原位传感器、数据传输网络、数据接收平台等构成的实时数据获取体系,提供直接的区域土壤和相关环境数据。目前应用现代光谱技术的监测装置开发已经取得了比较大的进步,随着数据传输网络的

日渐成熟,为建立全域—区域—农田三位一体的土壤信息获取系统提供了可能。

(2) 数据处理和更新系统。以GIS为核心,实现不同空间和时间尺度的土壤属性的数字化表达,包括土壤的类型分布、水分、养分、污染物质等属性的实时和准实时信息。

(3) 数据解译和应用系统。在建立模型的基础上,生成面向不同目标的数据解译、资源评价、利用和管理建议,为区域土壤资源管理提供及时准确的服务,实现数字化管理。

目前1 100万全国土壤信息系统已经初步建立,1 100万土壤与地体数据库也正在建设之中,这些都为未来的土壤资源数字化建设、服务土壤资源的评价和管理,提供了很好的基础。国际上渐入佳境的数字土壤制图研究在国内也成为基础土壤地理学的一个重要方向,其核心是不同尺度的土壤—环境因子定量关系研究,在获得土壤形成背景数字化信息的基础上,结合现代土壤系统分类专家规则和判别推理模型,可以实现不同尺度空间域内土壤的自动识别和制图,这将为未来的土壤调查和制图提供全新的方法论和技术。

参考文献

- [1] 梭颇,著.李庆逵,李连捷,译.中国之土壤.土壤特刊,1936,乙种一号:1~244. Thorp J. ed. Li Q K, Li L J. trans. Soil geography of China (In Chinese). Special Soil Publication, 1936, China, Series B, No. 1: 1~244
- [2] 熊毅.水稻土的化学性质.土壤特刊,1941,甲种4号:1~22. Hseung Y. Some chemical properties of paddy soil (In Chinese). Special Soil Publication, 1941, China, Series A, No. 4: 1~22
- [3] 马溶之,文振旺.以农业发展为目的的土壤区划原则.土壤学报,1958,6(3):157~177. Ma Y C, Wen Z W. Soil regionalization principles for agricultural development (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1958, 6(3): 157~177
- [4] . 格拉西莫夫,马溶之.中国土壤发生类型及其地理分布.土壤专报,1958,第32号:1~52. Gerasimov K, Ma Y C. The genetic types of soils of China and their geographical distribution (In Chinese). Soil Bulletin, 1958, No. 32: 1~52
- [5] 文振旺,主编.新疆土壤地理.北京:科学出版社,1965. Wen Z W. ed. Soil Geography of Xinjiang (In Chinese). Beijing: Science Press, 1965
- [6] 农业部全国土壤普查办公室主编.中国农业土壤志.北京:农业部全国土壤普查办公室,1964. National Soil Survey Office, Ministry of Agriculture. ed. Agricultural Soils in China (In Chinese). Beijing: National Soil Survey Office, Ministry of Agriculture, 1964
- [7] 中国科学院西藏综合考察队,中国科学院土壤研究所.西藏

- 的土壤. 北京: 科学出版社, 1970. Xizang Comprehensive Survey Staff, Chinese Academy of Sciences, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences ed Tibetan Soils (In Chinese). Beijing: Science Press, 1970
- [8] 中国科学院南京土壤研究所西沙群岛考察组. 我国西沙群岛土壤和鸟粪磷矿. 北京: 科学出版社, 1977. Xisha Islands Survey Team, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences Soils and Guano Mines of Xisha Islands, China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1977
- [9] 中国科学院南京土壤研究所主编. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1978. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences ed Soils of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1978
- [10] 席承藩, 章士炎. 全国土壤普查科研项目成果简介. 土壤学报, 1994, 31 (3): 330 ~ 335. Xi C F, Zhang S Y. Brief introduction on achievements in national soil survey project since 1979 (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1994, 31 (3): 330 ~ 335
- [11] 戴昌达, 等编著. 土壤航测普查. 北京: 农业出版社, 1980. Dai C D, et al eds Soil Survey by Aerial Photos (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1980
- [12] 卜兆宏. 资源遥感与制图. 南京: 南京工学院出版社, 1987. Bu Z H. Resource Remote Sensing and Mapping (In Chinese). Nanjing: Nanjing Institute of Technology Press, 1987
- [13] 龚子同, 等. 中国土壤系统分类——理论·方法·实践. 北京: 科学出版社, 1999. Gong Z T, et al Chinese Soil Taxonomy: Theories, Methods and Practices (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [14] Arnold R W, Szabolcs I, Targulian V O. eds Global Soil Change. Report of an IASA-ISSS-UNEP Task Force on the Role of Soil in Global Change. IASA, Laxenburg, Austria, 1990
- [15] van Engelen V, Wen T T. Global and national soils and terrain digital database (SOTER). Procedures manual (revised). ISSS-UNEP-FAO-ISR IC, Wageningen, Netherlands, 1995
- [16] 周慧珍. 海南岛土壤与土地数字化数据库及其制图. 北京: 科学出版社, 1994. Zhou H Z. Soil and Terrain Digital Database of Hainan Island and Its Mapping (In Chinese). Beijing: Science Press, 1994
- [17] 龚子同, 张学雷, 骆国保, 等. SOTER的建立及其在世界上的传播. 地理科学, 2001, 21 (3): 217 ~ 223. Gong Z T, Zhang X L, Luo G B, et al The creation of SOTER and its expansion to the world (In Chinese). Geographical Science, 2001, 21 (3): 217 ~ 223
- [18] 史学正, 于东升, 潘贤章, 等. 我国 1 100 万土壤数据库及其应用. 见: 中国土壤学会编. 面向农业与环境的土壤科学. 北京: 科学出版社, 2004. 142 ~ 145. Shi X Z, Yu D S, Pan X Z, et al 1 1 million soil database of China and its application. In: Soil Science Society of China ed Soil Science for Agriculture and Environment (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004. 142 ~ 145
- [19] 赵其国, 石华. 雷州半岛之土壤及其利用. 土壤专报, 1958, 第 31 号: 67 ~ 98. Zhao Q G, Shi H. Soils of Leizhou Peninsula and their utilization (In Chinese). Soil Bulletin, 1958, No 31: 67 ~ 98
- [20] 李庆远主编. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983. Li Q K ed Red Soils of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983
- [21] 龚子同, 等著. 华中亚热带土壤. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1983. Gong Z T, et al eds Soil of Subtropical Central China (In Chinese). Changsha: Hunan Science and Technology Publishing House, 1983
- [22] 中国科学院土壤研究所, 中国科学院新疆综合考察队. 新疆土壤地理. 北京: 科学出版社, 1965. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Comprehensive Survey Staff, Chinese Academy of Sciences Soil Geography of Xinjiang (In Chinese). Beijing: Science Press, 1965
- [23] 宋达泉, 程伯容, 曾兆顺. 东北及内蒙古东部土壤区划. 土壤通报, 1958, 4: 1 ~ 12. Song D Q, Cheng B R, Zeng C S Soil regionalization of northeast China and east Inner Mongolia (In Chinese). Journal of Soil Science, 1958, 4: 1 ~ 12
- [24] 朱显谟. 暂拟陕西土壤分类系统. 土壤通报, 1959, 1: 1 ~ 6. Zhu X M. Draft soil classification system for Shaanxi Province (In Chinese). Journal of Soil Science, 1959, 1: 1 ~ 6
- [25] 李庆远, 张效年. 中国红壤的化学性质. 土壤学报, 1957, 5 (1): 78 ~ 96. Li Q K, Zhang X N. Chemical properties of red soils in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1957, 5 (1): 78 ~ 96
- [26] 马溶之. 中国土壤的地理分布规律. 土壤学报, 1957, 5 (1): 1 ~ 18. Ma Y C. The geographical distribution of soils of China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1957, 5 (1): 1 ~ 18
- [27] 龚子同, 陈志诚. 珠江三角洲之土壤. 土壤专报, 1964, 36 号: 69 ~ 129. Gong Z T, Chen Z C. Soils of the Zhujiang Delta (In Chinese). Soil Bulletin, 1964, No 36: 69 ~ 129
- [28] 曹升虞. 江西红壤性水稻土的形成特点. 土壤学报, 1964, 12 (2): 63 ~ 73. Cao S G. The features of paddy soil formation in Jiangxi red soil region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1964, 12 (2): 63 ~ 73
- [29] 雷文进. 江苏里下河土壤发生与改良. 土壤学报, 1959, 7 (3/4): 227 ~ 236. Lei W J. Pedogenesis and amelioration of soils in Lixiahe, Jiangsu (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1959, 7 (3/4): 227 ~ 236
- [30] 徐琪, 陆颜春, 朱洪官. 江苏省太湖地区水稻土的发生分类. 土壤学报, 1980, 17 (2): 120 ~ 132. Xu Q, Lu Y C, Zhu H G. Pedogenesis and classification of paddy soils of the Tai Lake region, Jiangsu (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1980, 17 (2): 120 ~ 132
- [31] 王吉智. 银川地区土壤熟化问题. 土壤, 1959, (3): 18 ~ 21. Wang J Z. Soil ripening in Yinchuan, Ningxia (In Chinese). Soils, 1959, (3): 18 ~ 21
- [32] 朱显谟. 塿土. 北京: 农业出版社, 1964. Zhu X M. Loutu (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1964
- [33] 赵其国, 龚子同, 曾兆顺, 等. 中国土壤分类暂行草案. 土壤, 1978, (5): 168 ~ 169. Zhao Q G, Gong Z T, Zeng Z S, et al Draft soil classification system of China (In Chinese). Soils, 1978, (5): 168 ~ 169
- [34] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998. National Soil Survey Office, Ministry of Agriculture Soils

- of China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1988
- [35] 全国土壤普查办公室. 中国土种志. 北京: 农业出版社, 1993. National Soil Survey Office, Ministry of Agriculture. Soil Species of China (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1993
- [36] 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 (第三版). 合肥: 中国科技大学出版社, 2001. Research Group on Chinese Soil Taxonomy, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). 3rd Ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001
- [37] IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources World Soil Resources Reports No 103, Rome, FAO, 2006
- [38] 李锦. 土壤制图. 福州: 福建地图出版社, 1997. Li J. Soil Mapping (In Chinese). Fuzhou: Fujian Cartographical Publishing House, 1997
- [39] 李锦. 小比例尺土壤制图理论和方法研究. 土壤学报, 1988, 25(4): 336 ~ 348. Li J. Theory and methodology of small scale soil mapping (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1988, 25(4): 336 ~ 348
- [40] 熊毅, 李锦. 中国土壤图集. 北京: 地图出版社, 1986. Hseung Y, Li J. Soil Atlas of China (In Chinese). Beijing: Cartographical Press, 1986
- [41] 林培. 利用陆地卫星影像进行中比例尺土壤目视解译与制图的研究 (以河北省邯郸幅为例). 见: 国家遥感中心编. 遥感文选. 北京: 科学出版社, 1981. Lin P. Visual interpretation of Landsat images for medium scale soil mapping (a case study in Handan, Hebei). In: China Remote Sensing Center ed. Selected Papers on Remote Sensing (In Chinese). Beijing: Science Press, 1981
- [42] 贺红土, 侯彦林. 区域微机土壤信息系统的建立和应用. 土壤学报, 1991, 28(4): 345 ~ 354. He H S, Hou Y L. The establishment and applications of regional micro-computer based soil information system (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1991, 28(4): 345 ~ 354
- [43] 张定祥, 于东升, 史学正. 苏南 SOTER 数据库的建立及其在水稻土生产力评价的应用. 安徽农业大学学报, 2001, 28(2): 119 ~ 124. Zhang D X, Yu D S, Shi X Z. SOTER construction and its application in the assessment of paddy soil productivity in southern Jiangsu Province (In Chinese). Journal of Anhui Agricultural University, 2001, 28(2): 119 ~ 124
- [44] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER 数据库支持的土壤质量综合评价——以海南岛为例. 山地学报, 2001, 19(4): 377 ~ 380. Zhang X L, Zhang G L, Gong Z T. Soil quality assessment supported by SOTER-A case study in Hainan (In Chinese). Journal of Mountain Science, 2001, 19(4): 377 ~ 380
- [45] 史舟, 王人潮. 大比例尺红壤资源信息系统的研制. 浙江农业大学学报, 1997, 23(6): 707 ~ 710. Shi Z, Wang R C. The development of detailed scale red soil resource information system (In Chinese). Journal of Zhejiang Agricultural University, 1997, 23(6): 707 ~ 710
- [46] 潘剑君, 靳婷婷, 孙维侠. 江西省余江县土壤信息系统建造研究. 土壤学报, 1999, 36(4): 522 ~ 527. Pan J J, Jin T T, Sun W X. Study on the development of soil information system of Yujian, Jiangxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(4): 522 ~ 527
- [47] 张甘霖, 龚子同, 骆国保, 等. 国家土壤信息系统的结构、内容与应用. 地理科学, 2001, 21(5): 401 ~ 405. Zhang G L, Gong Z T, Luo G B, et al. The structure, contents and application of China national soil information system (In Chinese). Geographical Science, 2001, 21(5): 401 ~ 405
- [48] 史学正, 于东升, 高鹏, 等. 中国土壤信息系统 (SISChina) 及其应用基础研究. 土壤, 2007, 39(3): 329 ~ 333. Shi X Z, Yu D S, Gao P, et al. Soil information system of China (SISChina) and its application (In Chinese). Soils, 2007, 39(3): 329 ~ 333
- [49] Shi X Z, Yu D S, Wamer E D, et al. Soil database of 1:1 000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese Genetic Soil Classification System. Soil Survey Horizons, 2004, 45(4): 129 ~ 136
- [50] 高鹏, 史学正, 于东升, 等. 基于 WebGIS 的中国土壤信息查询系统研究. 土壤, 2008, 40(1): 9 ~ 15. Gao P, Shi X Z, Yu D S, et al. Soil information query system of China based on WebGIS (In Chinese). Soils, 2008, 40(1): 9 ~ 15
- [51] 杨国祥, 史学正, 于东升, 等. 基于 WebGIS 的中国土壤分类参比查询系统研究. 土壤学报, 2007, 44(1): 1 ~ 6. Yang G X, Shi X Z, Yu D S, et al. Soil classification reference query system of China based on WebGIS (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(1): 1 ~ 6
- [52] Chadwick O A, Chorover J. The chemistry of pedogenic thresholds. Geoderma, 2001, 100: 321 ~ 353
- [53] 张甘霖. 土壤发生学的发展和未来方向. 见: 中国土壤学会编. 中国土壤科学的现状与展望. 南京: 河海大学出版社, 2007. 64 ~ 73. Zhang G L. The development of soil genesis and its future. In: Soil Science Society of China ed. Present and Expectations of Soil Science in China (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 2007. 64 ~ 73

RETROSPECT AND PROSPECT OF SOIL GEOGRAPHY IN CHINA

Zhang Ganlin[†] Shi Xuezheng Gong Zitong

(*State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract The core of soil geography is the study of soil changes in space and time, which aims in the prediction of soil behaviors under various ecosystems and human activities, and in the effective management of soil resources. The development of soil geography in China has experienced several important phases. In 1950 s, regional soil reconnaissance survey and natural resource survey had laid a solid foundation for the recognition of the major soil types and their distribution laws. In 1980 s, just after the restoration of the nation's scientific activity, the launch of the second national soil survey programme had boosted the revival of soil geography in China, including almost all aspects of it such as soil genesis, classification, mapping and remote sensing. As a project emerged in that period, the study of "Chinese Soil Taxonomy" had prevailed nearly 20 years thereafter and had acted as an important engine of soil geography development in China. Since 1990, the emergence of new methods and technologies, represented by "3S" technology, have driven soil geography development until to date, which enables a dramatic evolution in depicting soil variation with as complete as possible data, new visions and much more convenient application possibilities. It is perceived that the development of soil geography in China in the near future should, in face of the fact that soil resources as a major limit to the sustainable development of the country, focus on the changes of soil quality and functions under changing ecosystems and intensive human activities, on soil inventory down to basic soil categories, on the digital mapping and effective management systems, for sustainable soil resource management, environmental conservation and global change mitigation.

Key words Soil geography; Soil genesis; Soil mapping; Soil information system; Retrospect; Prospect