

中国土壤信息系统 (SISChina) 及其应用基础研究

史学正, 于东升, 高 鹏, 王洪杰, 孙维侠, 赵永存, 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: 土壤是人类赖以生存和发展的物质基础, 是陆地生态系统的核心, 为了在全球尺度、国家尺度和区域尺度上解决资源、环境和生态的有关问题, 就必须要建立土壤信息系统。本文首先全面系统地介绍了国内外有关土壤信息系统的研究进展, 阐述了我国土壤信息系统建设的数据源、土壤空间数据和属性数据、包含土壤空间与属性数据融合的中国 1:100 万土壤数据库及其应用基础, 这对了解我国土壤信息系统的发展趋势, 更好地利用土壤资源, 为农业生产和生态环境建设服务具有重要的现实意义。

关键词: 中国土壤信息系统 (SISChina); 土壤空间数据; 土壤属性数据

中图分类号: S159

自美国前副总统戈尔于 1998 年提出“数字地球”以来, 世界各国都加速进行资源环境方面的信息化建设^[1], “数字土壤”是其中重要的组成部分之一。大力发展“数字土壤”是我国土壤学融合到现代地学和信息科学的必然趋势, 是我国农业、国土和环保部门的迫切要求, 并在资源环境评价和模拟等多方面发挥着重要作用^[2]。

土壤信息系统作为建设“数字土壤”的基础在国内外开展已有多年的^[2-3], 国际上公认最早建立并运行的土壤信息系统是加拿大土壤信息系统 (CANSIS)^[4], 从 20 世纪 70 年代初开始建立, 并一直更新, 它利用地理信息技术存储、管理土壤和土地资源数据。之后各国对土壤信息系统的建立更加重视, 并不断得到完善, 如美国建立了国家土壤信息系统 (NASIS), 它由土壤工作数据库、土壤解译数据库及土壤地理数据库 3 个部分组成, 其中土壤解译数据库包括全美的 13400 个土系, 可用于美国土壤制图; 土壤地理数据库包括 1100 多个分散的土壤调查区、各州土壤协会的州土壤图数据库^[5]。近几年随着 GIS 技术的发展, 土壤信息系统的建立与应用越来越广泛, 信息系统中不管是数据类型和数据量, 还是数据管理、分析和应用等各个方面都在不断改进和提高。2002 年, 澳大利亚利用 Arc/Info 和 Oracle 软件建立了国家级的土壤资源信息系统, 并与模型结合对土壤侵蚀、酸化等方面进行了分析和评价^[6]; 此外, 基于 SOTER 数据, 美国也模拟研究了国家尺度上土壤有机 C 的侵蚀特征^[7]。但所存

在的问题是以数字化土壤图为代表的空间数据与数以万计的土壤剖面属性数据分离, 没有很好地融合, 这样就难以编制应用非常广泛的土壤属性 (如 pH 值和有机质等) 的专题图, 形成了数据库中数据与应用之间的断层, 严重阻碍土壤数据在资源、环境和生态等领域的广泛应用。

我国土壤信息系统及其应用基础研究起步较晚, 但发展迅速。20 世纪 80 年代中期开始研究关于土壤信息系统和数据库的工作。进入 90 年代后, 随着专家对 GIS 技术在土壤信息系统中应用的加深认识^[8]以及“数字土壤”^[2]的提出, 标志着我国土壤信息系统的研究工作发展到了一个新阶段。1998 年, 在 UNDP 的支持下, 中国科学院南京土壤研究所联合华南热带农业大学应用和发展了 SOTER 的理论及方法, 并将海南省作为中比例尺 (1:20 万) SOTER 的建立和典型区示范研究^[9], 苏南地区也开展了类似的工作^[10]。接着, 许多具体土壤数据库的相关工作迅速开展起来, 如江西省余江县土壤信息系统建造研究^[11]、大比例尺红壤资源信息系统的研制^[12]、黄土高原土地信息系统数据库的建设^[13]等。为适应国际土壤数据库发展趋势, 目前, 全国尺度最为详细和功能齐全的 1:100 万土壤数据库已全部建成^[14], 并已广泛地应用于农业和生态环境等相关领域。但多数研究工作以区域性为主, 全国性的只有 1:400 万的土壤数据库, 存在比例尺偏小以及土壤空间数据与属性数据融合程度低等问题, 这种现状显然不能满足土壤资源学科的发展和国民经济建设的

①基金项目: 国家自然科学基金 (40471081)、中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (ISSASIP0201) 和中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3-SW-427) 共同资助。

作者简介: 史学正 (1959—), 男, 浙江嵊州人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤遥感与信息、水土保持的研究。E-mail: xzshi@issas.ac.cn

需要。最近几年南京土壤研究所在土壤信息系统建设方面取得了长足的进展,建立了一个较为系统的中国土壤信息系统 (SISChina: soil information system of China),它包含了不同尺度的土壤空间数据、土壤剖面属性数据、土壤空间与属性融合后的土壤专题空间化数据、土壤类型参比数据以及应用国际土壤主流分类的中国土壤分布特征数据,本文将系统地介绍初步建成的 SISChina 系统。随着 SISChina 系统的逐步建成和完善,可以坚信这一成果一定能推动我国土壤及其相关学科的发展,并广泛应用于国家、大流域和省级尺度的自然资源开发利用、国土整治、农业规划、环境保护和生态环境建设等。

1 土壤数据源与信息系统的建立方法

土壤空间数据包含了两部分的来源,一是中国科学院南京土壤研究所在长期研究工作中所编制的各种土壤图和土壤属性图^[15-16];另一部分来自全国第二次土壤普查数据,《1:100 万中华人民共和国土壤图》^[17]是其中之一,它是全国第二次土壤普查的重要成果。空间数据库中目前最为详细的全国性数据是全国 1:100 万数据,它是依据全国第二次土壤普查时统一的调查技术规程和土壤分类系统,从县和乡的土壤详查做起,先编制大比例尺土壤详查图,然后按地级市、省级和全国逐级汇总成图。编图的主要基础资料是各省、市、自治区编制的省级土壤图,相同比例尺的地形图和卫片,并广泛参考各省土壤志,有关的地质图、森林分布图、土地利用现状图以及过去的土壤调查资料如华北平原土壤图等。1:100 万中华人民共和国土壤图共设有土壤制图单元 909 个,非土壤形成物 4 个。这是我国在扎实的工作与丰富的数据资料基础上编成的第一套 1:100 万土壤图,也是到目前为止最为详细的全国性土壤图^[17]。

土壤属性数据与土壤空间数据一样,也包含了两部分的来源,一是中国科学院南京土壤研究所长期研究工作中所积累的土壤数据;另一部分来自全国第二次土壤普查数据,这些数据引自《中国土种志》和各省(市)自治区的土种志。《中国土种志》共有 6 卷^[18],计 2473 个土壤剖面的数据;各省(市)自治区的土种志共有 30 本,计 4800 余个土壤剖面数据;整个属性数据库由 7300 个土壤剖面数据组成。

土壤空间数据库的建设方面,采用 ARCVIEW 对各种扫描的土壤图进行数字化,采用 ARC/INFO 对图层进行查错和编辑。土壤属性数据库的建设则是将各种土壤属性数据,遵循一定的分类编码要求,以 DBF 的格式输入并存储。以上工作完成后,采用土壤类型

法,从而实现土壤空间数据和土壤属性数据库的融合。在信息系统的建设方面,采用 B/S 系统架构,利用 WebGIS 以及相关的计算机技术,以 ArcIMS 作为土壤地图数据发布平台,使用 ArcSDE 作为空间数据库引擎,采用关系数据库 SQL Server 2000 统一管理土壤空间数据和属性数据,建立起友好的交互性界面,使用户便捷地查询到尽可能精确的土壤信息^[19]。

2 中国土壤信息系统 (SISChina) 的特征

土壤信息系统作为录取、存储、分析和综合处理土壤数据的一种技术体系,必然以土壤数据库(包括空间和属性数据库)为基石进行构建。土壤信息系统所提供的信息和实现的功能很大程度上取决于土壤数据库所包含的数据以及数据的组织结构。同时,土壤信息系统又是对土壤数据库在功能上的扩展和延伸。土壤信息系统选择合适的软件对土壤数据库的数据进行有效的组织和管理,使之成为一个有机整体,并对信息进行发布,使信息更易于为用户获取^[20-25]。更为重要的是,一个成熟的土壤信息系统会引入满足不同学科需求的数据解译模型和专家系统,对土壤数据库的数据进行充分而有效的挖掘,从而提高数据的信息化程度^[8,21]。下面主要介绍中国土壤信息系统 (SISChina) 所包含的土壤数据库的特征。

2.1 土壤空间数据库

土壤空间数据库包括土壤及其相关的空间数据,由 1:1400 万、1:400 万、1:250 万、1:100 万和部分 1:50 万系列 5 部分组成。1:1400 万系列共计 21 幅,由 5 种不同类型的土壤及其相关图件组成,包括中国土壤图,土壤地球化学类型图,土壤黏粒矿物图,中国土壤速效 P、K 等含量图,有效态 Fe、Mo 等微量元素含量图等。1:400 万系列共计 29 幅,也由 5 种不同类型的土壤及其相关图件组成,包括应用不同分类系统和不同年代编制的 3 种不同版本的中国土壤图、中国土壤改良利用分区图、中国土壤 CaCO₃ 含量图、中国土壤全 N 等养分含量图和中国土壤有效 B 等微量元素含量图。1:250 万、1:100 万和部分 1:50 万系列共计 85 幅,这 3 个系列图的类型较为简单,都是土壤类型图,其中 1:250 万系列分成 9 幅,1:100 万系列分成 66 幅,1:50 万系列目前只完成了若干个省。中国 1:1400 万至部分 1:50 万系列土壤及其相关空间数据库是目前我国最为齐全和系统的土壤空间数据库。

2.2 土壤属性数据库

土壤属性数据库目前已包含了 7300 个土壤剖面的数据,数据总量达到约 100 万个。每个土壤剖面所提供数据可分为土壤特性描述和土壤分析数据两部分。

土壤特性描述包括归属与分布、主要性状、典型剖面和生产性能综述 4 个方面; 土壤分析数据尽管根据土壤类型而有所差别, 但总体上可分为土壤物理性质、土壤化学性质和土壤养分等。土壤物理性质包括土壤体积质量 (容重)、土壤颗粒组成和土壤质地等; 土壤化学性质包括 pH、有机质、CEC、交换性盐基和交换性 H 和 Al 等; 土壤养分包括全 N、全 P、全 K 以及有效 P 和有效 K 等。各种土壤属性的单位和有效位数的规范化是建立土壤数据库所必须的, 为此, 本属性数据库统一采用国际计量单位。如原有浓度单位 ppm, 改为 mg/kg, 阳离子交换量 cmol(+)/100 g 土改为 cmol(+)/kg 土等。对于不同的分析项目, 小数点位数也采用统一的规定。

2.3 空间与属性融合的中国 1:100 万土壤数据库

为了满足国民经济建设中其他学科对土壤数据的需要, 扩大土壤数据在资源、环境和生态各方面的应用范围, 克服目前国内外土壤信息系统的缺陷, 就必须要把土壤空间数据与属性数据融合集成。在数据库建设过程中我们采用了土壤类型 GIS 法把这两类数据融合集成, 融合方法确定后, 把一个个土壤剖面的属性数据与相对应的土壤图的空间单元相连接。由于全国第二次土壤普查的成果《中国土种志 (六卷)》和各省 (市) 自治区的土种志与全国 1:100 万土壤图中有关土类和亚类的划分是基本统一的, 所以在土类和亚类一级的连接过程中没有遇到大的困难, 但土壤剖面的土属名称与土壤图的空间分类单元土属名称不完全相同, 这给土壤属性数据与土壤图的空间单元连接工作带来了很大的困难, 为此, 组织了有关土壤分类学家通过查阅各省、市和自治区的土壤和土种志, 才逐步把这两类数据融合集成, 建成了一个集土壤空间与属性于一体的中国 1:100 万土壤数据库。这个数据库是目前我国最为详细和最全面的全国性土壤数据库。与以前广泛使用的中国 1:400 万土壤数据库相比, 首先在空间分辨率上, 要提高一个多数量级; 图斑数量从 3090 个增加到 94000 余个, 增加了 30 余倍。其次, 基本制图单元数量上, 从 235 个 (亚类) 增加到 909 个 (土属), 要详细一个分类级别。另外, 所用的土壤剖面属性数据, 从以前的 2473 个土壤剖面增加到目前的 7300 个, 增加了 2 倍多, 土壤属性数据总量达到 100 余万个。总之, 中国 1:100 万的土壤数据库与以前广泛使用的 1:400 万相比, 不管是空间数据, 还是属性数据都要精确得多, 其精度至少要提高 2 个数量级^[26]。

3 中国土壤信息系统的应用基础与结语

3.1 中国 1:100 万土壤数据库的应用基础

土壤空间与属性融合的中国 1:100 万土壤数据库建成后, 由于其空间分辨率大大提高, 其土壤数据量之多、土壤属性类型之全是前所未有的, 由于具有这些优势, 所以立即得到了非常广泛的应用。据不完全统计, 全国已有 30 个项目直接应用了这个信息系统的相关数据。最重要的有几个方面的应用, 即应用于中国土壤参比系统的建立、集成不同土壤分类系统的中国 1:100 万土壤数据库、中国土壤有机 C 密度和储量的估算以及各种陆地生态系统 C 模型输入的空间化土壤参数集成等。首先, 中国土壤参比系统建立方面, 大家知道土壤分类是土壤学的理论基础, 是国内外进行土壤研究成果交流必不可少的媒介, 但至今还没有一个统一的国际土壤分类, 只有美国土壤系统分类 (ST)、国际土壤参比基础 (WRB) 作为国际上的主流土壤分类得到广泛应用。我国长期采用土壤发生分类 (GSCC), 与 ST 和 WRB 系统完全不一样, 对我国科学家进行国际交流和合作带来了很大的困难, 严重阻碍了我国土壤学科的发展。通过系统地鉴定 7300 个土种在 ST 系统和 WRB 中的归属, 并与刚建成的中国 1:100 万土壤空间数据相融合, 分析它们在 GSCC 土壤类型与 ST、WRB 类型之间的内在联系, 总结其规律性, 提出了参比度和最大参比的新概念, 部分建立起了不同可信度等级的 GSCC 类型与 ST 类型间的参比基准^[26-27], 初步形成一个“傻瓜”式的中国土壤发生分类参比和查询系统, 在“科学时报”上作为学科前沿进行了报道。其次, 把 7300 个土种的参比解译数据与建成的中国 1:100 万土壤空间数据库融合集成后, 建成了 ST 和 WRB 分类系统的中国 1:100 万土壤数据库。第三, 中国土壤有机 C 密度和储量的估算方面, 利用包含有 7300 个土壤剖面的中国 1:100 万土壤数据库和最新总结出来的土壤空间数据和属性数据的土壤类型 GIS 融合集成方法, 估算出我国的有机 C 储量为 89.14 Pg, 土壤平均 C 密度为 C 96.0 t/hm²^[28]。由于土壤有机 C 库对全球变化起着重要的作用, 所以在过去 8 年中有 10 多位科学家对我国的土壤有机 C 进行了估算^[29-31], 不同科学家之间的估算结果从 180 Pg 到 50 Pg, 相差 3 倍多, 这个问题一直争论不休, 始终无法得到一个可以肯定的结论, 该研究结果解决了这个问题, 在今后相当长的时期该研究成果将成为我国有机 C 储量和密度及其空间分布的基准数据。第四, 陆地生态系统各种 C 循环模型所需要输入空间化的土壤参数。中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”应用该数据库系统集成成了农田、森林、草地和湿地 C 收支模型中输入的空间化土壤参数, 其中包括 8 个土壤属性数据, 如土层厚度、

质地等;分 5 个土层,总计为 40 个层面的全国性栅格数据。此外,数据库还被用于估算全国性和区域性的土壤 P 库估算、水稻田 CH₄ 排放、农业面源污染、土壤可蚀性、中国县域农田养分平衡,遥感估产和森林生长模拟等各个方面。

3.2 结语

土壤信息系统是实现土壤资源现代化管理和生态环境建设的重要工具,虽然最近几年我国土壤信息系统建设方面取得了长足的进展,在土壤空间数据尺度方面已接近欧盟的建库水平,但从总体上与发达国家相比还有相当大的差距,主要表现在我们土壤空间数据尺度方面还需要提高、土壤属性数据量还需继续增加、土壤数据的应用基础研究非常薄弱、网络化信息共享系统建设也需要加强。通过中国土壤信息系统(SISChina)的初步建成,并在资源、环境和生态方面得到应用后,希望能引起国家相关部门和科学家的高度重视,加速我国土壤信息系统(SISChina)的建设。在发展土壤信息学科的同时,满足社会对各种土壤信息的需求。

参考文献:

- [1] 徐冠华,孙枢,陈运泰,吴忠良. 迎接“数字地球”的挑战. 遥感学报, 1999, 3 (2): 85-88
- [2] 史学正,于东升. “数字土壤”—21 世纪土壤学面临的机遇与挑战. 土壤通报, 2000, 31 (3): 104-106
- [3] 张甘霖,龚子同,骆国保,张学雷. 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
- [4] Dumanski T. Concepts, objectives and structure of the canada soil information system. *Canada Journal of Soil Science*, 1975, 55 (2): 181-187
- [5] Lytle DJ. United states soil survey database // Summer ME. *Hand Book of Soil Science*. New York: CRC Press, 1999: 53-67
- [6] Johnston RM, Bleys E, Barry SJ. ASRIS-Australian soil resources information system // *Irb Kheoruenromne. Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science*. Bangkok, 2002: 1368
- [7] Bliss NB, Worstell BB, Shu G. Modeling erosion of soil carbon in the conterminous United States: Lessons for SOTER development // *Irb Kheoruenromne. Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science*. Bangkok, 2002: 1362
- [8] 于东升,史学正. GIS 中土壤信息系统的研究进展. 土壤学进展, 1993, 21 (6): 26-31
- [9] 张学雷,张甘霖,龚子同. 海南岛土壤质量的指标与量化表达研究. 应用生态学报, 2001, 12 (4): 549-552
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 原立峰,谢永生. 黄土高原土地信息系统数据库的建设. 土壤, 2005, 37 (4): 333-336
- [14] Shi XZ, Yu DS, Warner ED, Pan XZ, Petersen GW, Gong ZT, Weindorf DC. 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
- [15] 李锦,周明枫,周惠珍. 1:400 万中华人民共和国土壤图及其说明. 北京: 地图出版社, 1978: 1-13
- [16] 熊毅,李锦. 中国土壤图集. 北京: 地图出版社, 1986: 1-86
- [17] 全国土壤普查办公室. 1:100 万中华人民共和国土壤图. 西安: 西安地质出版社, 1995: 1-60
- [18] 全国土壤普查办公室. 中国土种志 (第一卷). 北京: 中国农业出版社, 1993: 1-924
- [19] 杨国祥,史学正,于东升,王洪杰,孙维侠,赵永存,金洋. 基于 WebGIS 的中国土壤参比查询系统研究. 土壤学报, 2007, 44 (1): 1-6
- [20] Daniel JE, Dennis L. Enhanced soils information-systems from advances in computer-technology. *Geoderma*, 1993, 60: 327-341
- [21] 汪善勤,周勇,张甘霖. 基于 GIS 的中国土壤分类专家系统设计. 土壤学报, 2005, 42 (3): 705-711
- [22] 汪善勤,周勇,于雷. 基于 XML 的土壤分类检索系统的元数据模型. 土壤学报, 2005, 42 (6): 889-895
- [23] 吕新,王海江. Mapinfo 和 Delphi 集成在棉花土壤施肥推荐系统中的应用. 土壤, 2005, 37 (4): 455-459
- [24] 盛建东,蒋平安,文启凯,武红旗,杨玉玲,李荣. 基于 GIS 的区域土壤养分管理与作物推荐施肥信息系统研究. 土壤, 2002, 34 (2): 77-81
- [25] 王效举,龚子同,张西森. 地理信息系统辅助土壤质量变化图的编制. 土壤, 1997, 29 (1): 37-42
- [26] Shi XZ, Yu DS, Sun WX, Wang HJ, Zhao QG, Gong ZT. Reference benchmarks relating to great groups of genetic soil classification of China with soil taxonomy. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49 (14): 1507-1511
- [27] 史学正,于东升,孙维侠,王洪杰,赵其国,龚子同. 中美土壤分类系统的参比基准研究—土类与美国系统分类土纲间的参比. 科学通报, 2004, 49 (13): 1299-1303
- [28] 于东升,史学正,孙维侠,王洪杰,刘庆花,赵永存. 基于 1:100 万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究. 应用生态学报, 2005, 16 (12): 2279-2283
- [29] Cheng XF, Shi XZ, Yu DS, Pan XZ, Wang HJ, Sun WX. Using GIS spatial distribution to predict soil organic carbon in subtropical China. *Pedosphere*, 2004, 14 (4): 425-431
- [30] Zhang SR, Sun B, Zhao QG, Xiao PF, Shu JY. Temporal-spatial

- variability of soil organic carbon storages in a rehabilitating ecosystem. *Pedosphere*, 2004, 14 (4): 501–508
- [31] 李忠佩. 低丘红壤有机碳库的密度及变异. *土壤*, 2004, 36 (3): 292–297

Soil Information System of China (SISChina) and Its Application

SHI Xue-zheng, YU Dong-sheng, GAO Peng, WANG Hong-jie, SUN Wei-xia, ZHAO Yong-cun, GONG Zi-tong

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

Abstract: Soil is the material basis for human beings to live and develop on and it is the kernel of the terrestrial ecosystem. In order to solve problems in the fields of resources, environment and ecosystem, it is essential to establish a soil information system. A systematic review of researches of soil information systems home and abroad was presented here, introducing in detail sources of the soil data of the SISChina, soil spatial data, soil attribute data, China 1:1,000,000 soil database and its application. The introduction was of great practical significance to readers and researchers to get to know the developmental trend of the SISChina and make more effective use of the soil resources in agricultural production and eco-environment construction in China.

Key words: SISChina, Soil spatial data, Soil attribute data