

# 数字土壤及其应用研究进展<sup>①</sup>

辛文文<sup>1,2</sup>, 刘建立<sup>1\*</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 数字土壤是近年来国内外土壤学研究的热点和前沿领域之一。文章阐述了数字土壤的概念和发展过程; 总结数字土壤在各专业领域的应用, 并对研究中出现的问题进行了深入的分析; 最后展望了数字土壤的发展前景, 提出了相关的建议。

**关键词:** 数字土壤; 土壤信息系统; 土壤数据库; 研究进展

**中图分类号:** S159-3

1998 年美国前副总统戈尔在加利福尼亚科学中心发表了题为“数字地球——21 世纪认识地球的方式”的讲演, 首次提出了数字地球(Digital Earth)的概念, 引起了全球的关注<sup>[1]</sup>。数字地球是一项整体性和导向性的国家战略目标, 涉及包括土壤学在内的以地球资源为基础的所有学科领域。土壤作为一个独立的自然体, 处于岩石圈、水圈、生物圈和大气圈之间物质和能量交换最活跃的界面上, 是地球陆地生态系统的核心, 是人类生存发展的物质基础和历史文明产生的必要条件, 因而数字土壤是数字地球必不可少的基础和组成部分。作为地理科学的分支, 土壤学是解决人口-资源-环境-粮食矛盾的核心之一。特别是我国所面临的水土资源短缺与未来粮食刚性需求间的矛盾持续加剧的特殊国情, 更是决定了农业生产必须由以往的集约化模式转变到以精准农业作为核心的数字农业, 发展数字土壤是实现这一跨越的必然需求, 同时也是国土、环保等部门的迫切需求<sup>[2]</sup>。

## 1 数字土壤的定义

数字土壤的提法目前已经比较普遍, 国内外不少学者曾对此概念进行探讨, 大致分为两类: 一类是基于数字地球的概念派生而来, 认为数字土壤是将土壤及其相关的海量地理数据, 借助信息技术实现数据的管理与分析, 并通过三维空间模拟重现地球表面的土壤信息<sup>[2]</sup>; 另一类是基于数字化的土壤图及数据库来定义的, 认为数字土壤是基于 3S 和计算机技术构建

的土壤数字化数据库, 将土壤及其相关信息按空间分布和地理坐标以一定的编码和格式输入、存储、检索、显示、综合分析应用与管理, 使分散的属性数据和空间数据能够得到更好的组织和高效的利用, 其既能吸收、消化已有的土壤信息, 又能不断储存、补充、更新变化的信息, 是一个开放的动态系统<sup>[3]</sup>。在综合上述两个提法的基础上, 龙怀玉等<sup>[4]</sup>和雷秋良等<sup>[1]</sup>提出了较为完善的数字土壤的定义, 即数字土壤是一种进行土壤科学研究的现代技术体系, 通过包括 3S 技术在内的各种手段获取土壤信息及其相关海量数据, 在此基础上, 以 GPS、数据库技术、建模技术、信息技术、虚拟现实技术、地学理论等现代信息技术为支撑平台, 构建土壤信息系统并在计算机上实现土壤信息的可视化或多维模拟再现, 实现对其动态更新、查询、显示、统计、分析、输出等功能, 并且可与其他相关模型对接和集成, 从而用来解决土壤科学、资源环境等问题。

上述定义对数字土壤的建设起到了指导作用, 体现了其内涵、构成、技术手段、功能等。数字土壤主要包括 4 个方面的内容: 实现土壤信息数字化、构建不同比例尺的土壤数据库; 基于土壤数据库实现土壤信息的集成与整合, 构建土壤信息系统, 实现土壤信息的实时采集、存储、查询、检索、分析、动态监测等; 基于信息技术、3S 技术、专家技术等实现与专业模型的集成, 并应用于不同尺度、不同专业领域; 基于计算机、虚拟现实、可视化、网络共享等技术, 实现土壤信息的三维或多维可视化表达。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171179, 41001127)资助。

\* 通讯作者(jilliu@issas.ac.cn)

作者简介: 辛文文(1988—), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事数字土壤、地统计学及相关研究。E-mail: wwxin@issas.ac.cn

## 2 土壤数据库和土壤信息系统研究进展

根据其定义和内涵,简单地讲数字土壤包括两部分:土壤信息系统的建设及其应用。土壤信息系统(Soil information system, SIS)也称土壤资源信息系统,是在土壤调查和分类的基础上,利用地理信息系统技术,在计算机软硬件的支持下,综合处理和分析土壤资源属性和空间内涵,以解决复杂的规划和管理问题。土壤信息系统的核心是土壤数据库,因而数字土壤的研究进展是从土壤数据库的建立开始的。

### 2.1 国外研究进展

自 20 世纪 70 年代以来,土壤信息系统的研究在国际上日益受到重视。加拿大于 1972 年最早建立了全国性的土壤数据库<sup>[5-7]</sup>。1975 年,全球 18 个国家的国际土壤学会代表在新西兰惠灵顿召开了有关土壤信息系统的第一次国际会议,正式确立了土壤信息系统在土壤科学中的地位。同年苏格兰的麦考利(Macaulay)土壤研究所首次尝试建立了英国第一个土壤数据库<sup>[8]</sup>。此后,世界各国都致力于土壤数据库和土壤信息系统的研究。至 70 年代末 80 年代初,大部分国家已完成土壤信息系统的建设。一些发达国家建成的区域性或全国性的土壤数据库系统,在农业生产和环境保护等方面发挥了重要的作用。进入 20 世纪 80 年代后,由于计算机技术的突飞猛进以及对全球变化、环境风险评估等的关注,土壤信息系统建设的步伐迅速加快,应用领域也不断拓展,在土壤数据库的规范化、全球化、实用化等方面得到进一步发展。20 世纪 90 年代后,FAO 在各国的共同努力下,建立了全球 1:500 万土壤数据库<sup>[9]</sup>,荷兰国际土壤参比与信息中心也建立了全球性的参比剖面及其数据库和 0.5×0.5 全球土壤数据库<sup>[10]</sup>,至此实现资源共享成为了土壤信息系统建设的主要方向。其中由国际土壤学会于 1986 年提出的 SOTER 方法堪为土壤信息系统建设史上具有里程碑的一页<sup>[11]</sup>,SOTER 最初以 1:100 万为基础比例尺设计<sup>[12]</sup>,目的是为国家和全球尺度的研究、决策服务,其发展总体上分为 3 个阶段<sup>[13]</sup>:1985—1987 年为起步阶段;1987—1997 年为小比例尺数据库建设阶段,期间召开了 5 次有关的研讨会<sup>[14]</sup>,修订了 5 版 SOTER 工作手册<sup>[15]</sup>;1997 年至今为不同比例尺数据库建设阶段<sup>[16]</sup>。因 SOTER 提高了数据的传递、修正、管理和兼容能力及人们对土壤资源信息的理解能力,赋予了其本身强大的生命力,使得该方法很快在全球得以推广,为土壤信息系统走向全球化、适用化、智能化奠定了理论基础<sup>[17-19]</sup>。而近年来发展起来的空间决策支持系统通过 GIS 与专

业模型的集成,更是为土壤资源的管理与使用提供了平台和工具,如 DNDC 模型已与美国农业数据库连接,形成了美国农业决策支持系统,同时成为了全球生物地球化学研究、生态系统及其低碳经济管理决策的优秀技术手段。

目前,发达国家的土壤信息系统研究已经进入了一个高级发展阶段,除了进行信息查询、土壤侵蚀、酸化评价<sup>[20]</sup>等专业领域的应用外,还扩展到了实际的生产(如农场的综合管理等)中,并结合遥感、卫星定位等空间信息技术实现了精准农作。此外,基于网络技术的快速发展,土壤数据的商业化程度也达到了较高水平。其中美国土壤信息系统被认为是全球目前最为成熟、最为有影响的区域土壤信息系统之一<sup>[21-22]</sup>。时至今日,世界土壤信息系统经过四十年的发展,其特征主要体现在:数据采集标准化;专家系统技术应用于土壤数据库;应用领域不断扩展;图形用户界面及强大的在线帮助功能;强大和完善的数据及图形处理功能;基于网络<sup>[23]</sup>。

### 2.2 国内研究进展

中国土壤信息系统的发展是建立在地理信息系统之上,虽起步较晚,但发展迅速。1977 年,我国科研工作者应用计算机处理输出了首张全要素地图。1978 年地理信息系统的发展方向得以确立,促进了土壤信息系统的建设<sup>[24]</sup>。20 世纪 80 年代初,我国对资源与环境信息系统进行了全面性研究,包括数据规范和标准、空间数据处理和分析方法及通用软件研制等。80 年代中期开始土壤信息系统的建设工作,主要侧重于土壤数据库建立、系统专题研制和应用等<sup>[25-26]</sup>,并且多以区域性工作为主<sup>[27]</sup>。进入 90 年代后,随着 GIS 技术的兴起<sup>[23]</sup>以及“数字土壤”<sup>[2]</sup>的提出,我国土壤信息系统的研究工作发展到了一个新阶段<sup>[28-31]</sup>。特别是,1999 年 11 月世界上第一个和“数字地球”有关的国际会议——数字地球国际会议在北京举行,为我国土壤信息系统的发展提供了新的机遇,各种比例尺的专业和综合性的土壤信息系统建设工作相继开展。到目前为止投入运用的一些系统,已经取得了一定的社会、经济和生态效益。此外,在土壤信息系统的基础上还发展了一系列的商用产品,如 2004 年中国土壤肥料信息系统就推出了系列产品,包括全国、辽宁省、沈阳市、中国植烟、云南植烟、贵州植烟等土壤肥料信息系统,取得了良好的效益<sup>[32]</sup>。

从国家层面上来看:为适应国际土壤数据库的发展趋势<sup>[33]</sup>以及满足国家土地管理工作的需要,2001 年对国家土壤信息系统进行了初步研究<sup>[34]</sup>。2003 年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,并已广泛应用于农业、生态和环境等相关领域<sup>[35-38]</sup>。2007 年完成了中国土壤信息系统(SISChina)<sup>[39]</sup>。我国曾试图建立全国 1:400 万 SOTER,由于全国范围数据源以及定量化方法的限制未能实现,但 1:100 万 SOTER 已经构建<sup>[40]</sup>。

从地区层面上来看:在珠江三角洲<sup>[41]</sup>、克拉玛依<sup>[42]</sup>、辽河下游<sup>[43-44]</sup>、水耕人为土区<sup>[45]</sup>、京津唐<sup>[46]</sup>、长江上游典型样区<sup>[47]</sup>、黄土高原<sup>[48]</sup>、罗布泊<sup>[49]</sup>、秦巴山区<sup>[50]</sup>等地区已经完成土壤信息系统的研制。此外,林杰<sup>[51]</sup>开发了赣、闽、浙三省红壤资源信息系统。目前“中国的水利枢纽三峡坝区”也建立了土壤信息系统的空间基础数据库。

从各省研究来看:在海南<sup>[52-57]</sup>、江苏<sup>[58-59]</sup>、浙江<sup>[60]</sup>、江西<sup>[61-62]</sup>、山东<sup>[63-64]</sup>、河北<sup>[65-66]</sup>、河南<sup>[67]</sup>、安徽<sup>[68-69]</sup>、湖北<sup>[70-71]</sup>、湖南<sup>[72]</sup>、贵州<sup>[73-76]</sup>、重庆<sup>[77]</sup>、四川<sup>[78-80]</sup>、陕西<sup>[81-83]</sup>、甘肃<sup>[84]</sup>、福建<sup>[85]</sup>、广州<sup>[86-87]</sup>、香港<sup>[88]</sup>、黑龙江<sup>[89]</sup>、辽宁<sup>[90]</sup>等省份或地区已经完成土壤信息系统的研制。中国农业科学院农业资源与农业区划研究所数字土壤实验室所主持的国家科技基础性工作专项已经完成全国 1/2 以上地区(1 218 个县)的大比例尺土壤数据库<sup>[1]</sup>。

### 3 数字土壤的应用研究进展

数字土壤作为一种技术体系,任何与土壤有关的人类活动(如农业、林业、环保、军事、土地规划、城市建设、科研等)皆可受益于数字土壤<sup>[4,16,34,80]</sup>。同时数字土壤为我国待开展的第三次土壤普查提供了新技术、新方法、新手段,是开展我国第三次土壤普查不可缺少的技术支撑体系,其应用范围包括基层、省级、全国和全球等不同尺度。

#### 3.1 土壤制图

土壤数字化制图是借助 GIS 工具最早发展的土壤资源信息系统技术,将纸质地图经过一系列处理而转换成可以在屏幕上显示的电子化地图,采用基于图斑的表达方式,可以满足人们使用地图的新要求<sup>[91]</sup>。美国就是广泛使用数字化制图的国家<sup>[24]</sup>。而数字土壤制图主要根据数字形式的土壤数据直接生产数字格式的土壤图<sup>[92]</sup>,采用栅格的方式可以表达更为详细的土壤类型与属性的空间差异<sup>[93]</sup>。基于数字土壤制图方法和技术创建土壤数据库是获取土壤空间数据及属性数据的一个重要来源,也是对基于传统方法建立的土壤空间数据库进行更新、完善及补充的一个重要方法。随着信息技术的发展,土壤制图方法也取得了巨大的进展,统计学、3S 技术、分类树、模糊

数学、神经网络、数据挖掘和专家知识系统等在数字土壤制图中得以广泛应用<sup>[1]</sup>。

#### 3.2 全球变化

土壤和全球变化之间存在密切的关系:通过对土壤及其环境(如有机碳<sup>[40]</sup>)的研究有助于我们对全球变化过程的认识和理解;而反过来,通过对全球变化的研究又有助于我们从更深层次上对土地退化机理的认识。数字土壤是现实世界模型<sup>[94]</sup>,在实际应用中可以进行各种模型的运算以及数据的管理、输出等。应用者可根据不同的目的,选择科学的评价方法,结合数学模型完成全球变化中环境、土壤等各要素的相关评价。同时数字土壤可以将各个侧面的思维评价结果作用其上,得到综合分析评价结果;也可以将自然过程、决策的发展结果以命令、函数和程序作用于数据上,模拟全球变化过程的发生发展,作出定量的趋势预测,对比不同决策方案的效果,以作出最优决策。其中 SOTER 方法目标着眼于全球或国家的土地资源及其环境变化研究,为全球变化研究提供了有力的工具<sup>[95]</sup>。

#### 3.3 土地资源规划和利用

土壤数据库尤其是 SOTER 几乎包含了一个土地资源数据库所有的自然属性信息,只要对 SOTER 的土地覆盖部分进行适当的完善,它实际上就是一个相对完备的土地资源数据库<sup>[18-19]</sup>。因此数字土壤可以为土壤资源的调查、存储、管理提供高效便捷的工具;为土壤资源的各种评价等提供基础数据库和分析手段;为土壤资源的规划、开发、利用提供辅助决策服务<sup>[81]</sup>。过程是提取土壤信息系统中的土壤、地形、地质、气候、植被、土地利用等数据库的相关因子,结合经济技术发展水平等因子,按其影响强度进行等级划分并进行各因子权重分配和复合计算,对土壤资源进行评价,在可持续利用思想指导下,对土壤在生产中存在的问题和障碍因素提出具体措施加以克服和改良,为制定土壤合理利用规划提供科学依据。目前已广泛应用于各种目的的土地评价<sup>[96]</sup>和过程模拟,包括土壤质量评价<sup>[30,64,70]</sup>、土壤适宜性评价<sup>[69,97]</sup>、耕地地力评价<sup>[117]</sup>、作物的适宜性评价<sup>[52-53]</sup>和土壤资源开发利用分区<sup>[31]</sup>等。

#### 3.4 土壤退化和环境保护

土壤退化是指土壤肥力衰退导致生产力下降的过程,对粮食产量有着重大影响。其中最受关注的就是水土流失,不仅破坏土地资源,造成生态环境恶化,还严重威胁人类的生存和发展。由于其过程复杂,控制因子繁多,依靠传统的人为野外调查、划定水土流

失等级和遥感目视解译的方法费时、费力<sup>[26]</sup>，因此可以利用土壤数据库来进行水土流失危险性评价<sup>[74,98-99]</sup>。1990 年土壤侵蚀预测模型在土壤信息系统中已经得到成功运用<sup>[100]</sup>。随着 SOTER 的发展，国际土壤参比与信息中心专为 SOTER 数据库开发了 SWEAP 土壤侵蚀估测软件，二者数据库之间由提取程序耦合。其基本思路：采用 SOTER 数据库提供的信息，通过国际土壤通用流失数学模型(如 RUSLE 模型)，对土壤侵蚀因子进行评价，确定土壤侵蚀强度，划分侵蚀等级，制作出研究区土壤侵蚀现状和潜在危险图<sup>[73]</sup>，探讨了土壤恶化的机理，提出合理的土地利用方案，为综合治理和防治水土流失提供依据。此外还有土壤盐碱化评价<sup>[101]</sup>、土壤酸化评价<sup>[102]</sup>、土壤污染评价<sup>[103]</sup>和产流产沙和土壤养分流失<sup>[104]</sup>等。分析和评价土地退化的类型、等级、速率、分布、机制，对有效地预防和保护水土资源、促进土壤资源的可持续利用有着十分重要的意义。

### 3.5 精准农业

精准农业是近年来农学界提出的新概念。从土壤学的观点，精准农业就是利用高新技术根据土壤的空间变异性而进行非常精确的测土施肥，因而数字土壤是实施精准农作技术必不可少的基础<sup>[105]</sup>。“精准农业”中的“数字土壤”就是将农田土壤类型、质地、养分、水分等的空间分布，与随时空变化的数据加以集成，及时地应用到农作物的栽培管理中，运用科技手段进行调控，以提高农田土壤资源潜力，增加产量，节约成本，并能有效控制因过量施用肥料和农药所造成的浪费等负面环境效应<sup>[106]</sup>。国外如日本的农耕地土地资源信息系统(ALRIS)、保加利亚的计算机农业综合管理系统(ICAMS)等均是精准农业生产服务的<sup>[91]</sup>。国内贵州省<sup>[75]</sup>、甘肃省<sup>[84]</sup>等都进行了测土配方施肥的应用，尤其是县域大比例尺土壤信息系统具有很强的实用性，在耕地改良利用、无公害农产品生产、生态农业建设等方面具有广阔的应用前景。

## 4 我国数字土壤建设与应用中存在的问题

### 4.1 数据方面

**4.1.1 数据时空分辨率低** 国内相当部分土壤数据库建设采用的资料是两次全国土壤普查获取的，由于其纸质存储的弊端<sup>[41]</sup>和普查的技术问题<sup>[107]</sup>，使得土壤信息的数量和精度受到限制，很难运用 GIS 等信息技术将低精度的数据转化成高精度的数据<sup>[4]</sup>。同时相关基础图件比例尺或坐标系统的不统一也造成了土壤数据在整理和处理过程中的提取偏差和丢失。另外因为土壤属性空间变异极大，而且很难用现

代遥感和遥测手段获取土壤个体信息，绝大部分只能通过实地调查研究的方法获取，但是需要投入大量的人力、物力，这样就造成了数据的空间分辨率低下。

**4.1.2 数据规范和标准问题** 土壤普查以来，我国土壤分类基本一直沿用前苏联发生分类体系，其存在的很多问题造成了与国际发展主流土壤系统分类相脱节<sup>[68]</sup>，在一定程度上限制了数据的使用、交流共享。为了适应国际发展的趋势，经过十多年的研究建立了“中国土壤系统分类”，虽然系统中土壤类型的高级单元划分已基本做到了定量化，并能与国际接轨<sup>[33]</sup>，但基层分类工作才刚刚开始，积累的土壤数据还不够多，因而不可能马上取代发生分类。双轨制的并行，不仅使得土壤数据规范化很难一下实现，也造成了土壤数据库结构及编码等研究的困难。鉴于此现状，国内有学者已经从区域参比和土壤名称参比两方面进行了大量的土壤分类参比研究<sup>[108-109]</sup>，但是这些参比体系的建立没有统一的标准，不适用土壤类型复杂的省份直接应用。

### 4.2 土壤信息系统建设方面

**4.2.1 数据库内容及更新** 土壤数据库的内容上主要存在 3 方面的问题：根据不同的研究目的，研究者对属性数据库或者空间数据库会有不同的侧重<sup>[80]</sup>，且以往的土壤空间数据库宏观性强，没有更多的利用 GIS 对图形数据强大的管理和分析功能，因而数据库管理功能不够完善；属性数据与空间数据的实体联系欠缺，没有很好地融合，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；土壤数据库中的数据只是现实世界的一个静态模型，需要及时更新，但更新工作量大。其一如果采用人工数字化方法不仅更新周期长，而且还要消耗大量的人力、物力，其二运用遥感等技术，虽可以实现土壤数据库自动更新，但遥感图像自动解译技术的不完善<sup>[29]</sup>，使得数据更新不得不依靠有丰富经验的解译专家。

**4.2.2 系统的开发方面** 土壤信息系统的开发主要有 3 种形式：自主设计数据结构和数据库，利用 VC、VB 等编程语言开发，需要较高的人力、物力的投入；利用先进的地理信息系统软件提供的二次开发工具，结合应用的需要开发，软件可移植性差，不能脱离开发环境；利用嵌入式 GIS 控件结合面向对象的高级程序设计语言开发，周期短、成本低。目前大部分土壤信息系统的开发都会选择第三种方式，但是对于早期的土壤信息系统，要在应用过程中对其进行修改和完善，同时应注重系统的兼容性和使用寿命，避免应用系统的频繁更换和升级。

### 4.3 数字土壤的应用方面

**4.3.1 应用尺度问题** 国内大多数数字土壤的应用研究工作以区域性为主<sup>[39]</sup>, 往往只适用于国家或省级层面针对农业生产、国土规划等的宏观决策, 基础研究非常薄弱。这是由于数据的时空分辨率低, 对图斑反映的精度不高, 不适合于为特定研究区制定相关农业政策, 再加上数据维护更新难、缺少决策支持系统等数据挖掘技术的支撑, 尤其不能具体指导精准农业生产<sup>[68]</sup>。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需要。

**4.3.2 模型集成问题** 关于土壤信息系统的开发, 无论是从技术还是从队伍上讲, 我国均已具备了一定的基础。但是由于相应的应用模型和开发手段相对滞后, 现阶段土壤信息系统的功能主要依赖于地理信息系统软件的功能, 没能充分发挥土壤数据的作用, 造成了一定程度的浪费<sup>[83]</sup>。系统集成应用模型较少<sup>[50]</sup>, 尤其是与专业模型如水肥管理模型的耦合就更少了, 大大限制了其应用范围, 成为影响数字土壤发展的瓶颈所在。

### 4.4 数字土壤的共享和推广应用方面

**4.4.1 共享度低** 一方面不同比例尺土壤数据库没有完全建立起来, 不能实现网络化; 另一方面, 缺少相应的数据共享机制和政策法规, 目前我国还未就数字土壤建立统一的国家(行业)标准。只有一些科研单位和大学开展数字土壤的科研推广工作, 与其他领域相比显得自我封闭。总体上看, 一般共享的为小比例尺土壤数据库, 大中比例尺的土壤数据库共享程度低<sup>[1]</sup>。

**4.4.2 推广进度慢** 从宏观方面看, 在数字土壤发展中, 人们长期自我封闭, 从观念上产生了高不可攀的误区; 另外理论研究热, 应用开发冷, 数字土壤无法融入 GIS 产业的下游市场; 最重要的是国家对涉及农业的信息管理投入不足, 土壤普查资料的管理形式化<sup>[110]</sup>。从微观方面看, 信息化技术在土壤信息系统中没有得到充分的应用, 例如大多数土壤信息系统都是以专业软件(如 ArcGIS)为平台搭建的, 不是一个独立的产品<sup>[83]</sup>, 使得系统的成本较高, 基层推广受到限制。

## 5 建议与展望

### 5.1 加强数据源建设

土壤信息系统的建设是一个长期的动态的过程<sup>[111]</sup>, 尤其是 SOTER 数据库在数据类型和标准化方面的要求更高<sup>[112]</sup>。所以要综合利用各种资料不断积累, 逐

步完善土壤信息系统<sup>[61]</sup>, 以确保其高效利用: 对于基础属性数据, 要结合第二次普查数据与近期土壤采样数据, 对有归并或更名的土类、亚类、土属、土种进行编辑处理并按规范要求统一编码<sup>[76]</sup>; 对于基础空间数据, 应尽量以最新的、能够反映现势性和真实性的图件为佳。随着科技的发展, 目前已经出现了新的数据源: 农田信息监测网络<sup>[113]</sup>、SRTM<sup>[40]</sup>等, 或者直接购买相应精度的 DEM<sup>[114]</sup>, 但要实现多源数据的融合<sup>[115]</sup>。

### 5.2 完善中国土壤信息系统体系

完善中国土壤信息系统体系的理论基础是经用户调查后提出的土壤信息系统用户模型<sup>[79-81]</sup>: 一个典型的面向多层次用户的技术系统。首先建立国家级土壤信息系统, 突出宏观性, 掌握土壤资源总体数量、质量与空间分布, 为国家主管部门决策服务。其次建立省级土壤信息系统, 提高土壤资源利用效率, 既要着眼于全省的土壤、土地资源状况, 又要注重其在生产和管理中的实用性。最后建立县乡级土壤信息系统, 主要是提供业务咨询: 对于乡镇农技站的农技人员, 提供技术指导; 对于基层的农民群众, 突出实用性和生产指导性, 提供简单实用的农业技术咨询。形成信息农业和精准农业的技术支持体系, 并在此基础上发展形成精确农业。

### 5.3 与专业模型集成, 扩展应用面

一个好的土壤信息系统一定要有较多的应用模型做支撑, 提高管理和应用信息的能力, 形成完整的数字土壤体系。因此, 必须投入一定的人力、物力, 组织技术力量开发研制土壤应用模型, 或者借鉴国外成熟的模型直接开展研究<sup>[66]</sup>, 使土壤信息系统从一般的数据资料管理提高到区域评价、规划、动态监测和进行预报的层次, 真正发挥信息系统的潜能<sup>[72]</sup>。此外, 更应重视应用与维护, 注重将成熟的技术用于实践, 解决生产实际问题, 在应用过程中对系统进行修改、完善, 使土壤信息系统发挥更大的作用。

### 5.4 加强数据共享和推广

在机制和方法上, 可以借鉴吸收国外先进的土壤数据共享的机制与经验, 从全球的高度, 建立一套适合中国国情的土壤信息系统规范<sup>[22]</sup>, 在执行国家现有标准的基础上, 尽快建立行业标准。加强横向交流, 开放系统数据结构和标准, 促进数字土壤逐步市场化; 在平台建设上, 可以依托已有地球科学数据、国家农业科学数据共享平台等或构建独立的土壤数据共享平台, 而且在系统的开发初期到最后试运行的每个环节中, 都可以采用不同的技术手段, 降低系统开

发成本最大限度地满足基层的经济发展水平,促进数字土壤的普及;在政策法规体系上,建立健全土壤数据的政策法规,制定土壤数据共享管理办法及相关管理规范,建立健全管理制度,以制度创新规范共享服务系统的运行。

### 5.5 构建数字土壤博物馆

数字土壤博物馆是利用现代信息技术对土壤资源相关的标本、文字、场地和科学数据等多媒体信息进行采集、保护、管理、传播和利用,从而达到汇总土壤信息数据,传播土壤科学知识的信息服务体系<sup>[116]</sup>。其目的在于为合理利用土壤资源、开展土壤科学研究、传播土壤科普知识、为食品安全和生态安全提供基础数据和政府决策服务。可以利用数字博物馆技术汇总各省市的大尺度土壤信息系统数据,便于宏观应用,此外还可以链接到各省市小尺度的土壤信息系统来完成实际应用。

### 5.6 关注城市土壤信息系统

城市土壤区别于农业土壤<sup>[90]</sup>,主要是为城市园林植物生长提供介质和养分,为城市景观设计提供场地和依据,为城市居民提供休闲娱乐的场所,是城市污染物的汇集地和净化器,关系到城市生态环境质量和人类健康。城市土壤信息系统应根据城市土壤的这些特点有针对性地设计土壤质量查询、土壤资源规划、土壤预警等功能,以满足城市土壤监控与管理的需求。随着城市的快速发展,我国应该加强这方面的研究。

### 参考文献:

- [1] 雷秋良,张认连,徐爱国,龙怀玉,张怀志,冀宏杰.中国数字土壤建设及其发展方向探讨[J].土壤通报,2010,41(5):1246-1251
- [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[J].土壤通报,2000,31(3):104-121
- [3] 雷永振.土壤普查与数字土壤[J].辽宁农业科学,2003(6):35-37
- [4] 龙怀玉,张维理,黄鸿翔,张认连,徐爱国,辛景树.有关我国“数字土壤”建设若干问题的思考[J].土壤通报,2007,38(6):1041-1045
- [5] Dumanski T. Concepts, objective and structure of the Canada soil information system[J]. Canada Journal of Soil Science, 1975, 55(2): 181-187
- [6] Agriculture Canadian Soil Information System (CanSIS). Manual for Describing Soils in the Field[M]. Ottawa, Canada: Land Resource Research Centre, 1983
- [7] Coote DR, MacDonald KB. The Canadian soil database[A] // Summer ME. Hand Book of Soil Science[M]. New York: CRC Press, 1999: 41-52
- [8] Bron. The development of soil information system[J]. The Journal of Soil science, 1987, 38(2): 267-277
- [9] Nachtergaele FO. From the soil map of the world to the digital soil and terrain database: 1960-2002[A] // Summer ME. Hand Book of Soil Science[M]. New York: CRC Press, 1999: 5-17
- [10] Batjes NH. Development of a 0.5 by 0.5 resolution global soil database[A] // Summer ME. Hand Book of Soil Science[M]. New York: CRC Press, 1999: 29-40
- [11] 钟骏平.土壤信息系统的发展与应用[A] // 中国土壤学会地理专业委员会等编.土地资源持续利用与信息技术[M].北京:中国大地出版社,1999:267-270
- [12] Baumgardner MF. Project Proposal “World Soil & Terrain Digital Database at a Scale 1:1M (SOTER)”[R]. ISSS, 1986: 23
- [13] 龚子同,张学雷,骆国保,张甘霖. SOTER 的建立及其在世界上的传播[J].地理科学,2001,21(3):217-223
- [14] 潘剑君.“SOTER”计划简介[J].土壤学进展,1992,23(4):43-45
- [15] Van Engelen VWP, Wen TT. Global and National Soils and Terrain Digital Database (SOTER)[Z]. Wageningen, Netherlands: ISSS-UNEP-FAO- ISRIC, 1995
- [16] 吕成文,骆保国,龚子同. SOTER 的建立与发展[J].土壤通报(土壤系统分类与 SOTER 专辑 U),1999
- [17] 孙丹峰. GIS支持下大比例尺 SOTER 建设模式的探讨(博士学位论文)[D].北京:中国农业大学,1996
- [18] 孙丹峰,李红.土壤土地数据库(SOTER)在我国土地资源数据库建设的应用研究[J].土壤通报,2001,32(2):53-56
- [19] 毛振强,李宪文,张定祥. SOTER 研究进展及其在构建土地资源数据库中的应用[J].中国土地科学,2004,18(4):60-64
- [20] Batjes NH. Global assessment of land vulnerability to water erosion on a 0.5° by 0.5° grid[J]. Land Degardation & Development, 1996, 7: 353-365
- [21] Lytle DJ. United states soil survey database[A]// Summer ME. Hand Book of Soil Science[M]. New York: CRC Press, 1999: 53-57
- [22] 吕成文,张甘霖,沈德福.美国土壤信息系统的发展及其启示[J].土壤通报,2004,35(1):4-7
- [23] 于东升,史学正. GIS 中土壤信息系统的研究进展[J].土壤学进展,1993,21(6):26-31
- [24] 魏永胜,常庆瑞,刘京.土壤信息系统的形成发展与建立[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2002,2(3):32-36
- [25] Ainal MA. Proceedings of International Workshop on Geographic Information System Beijing 87[R]. Institute of Geography, CAS. 1987: 1-446
- [26] 王伟明,张黎明,郑良永.土壤信息系统的研究现状与应用[J].华南热带农业大学学报,2005,11(2):28-31
- [27] 贺红士,侯彦林.区域微机土壤信息系统的建立和应用[J].土壤学报,1991,28(4):345-354
- [28] 周慧珍.土壤地理信息系统[J].土壤学进展,1993,21(6):32-36

- [29] 史舟, 王人潮. 红壤区土壤资源利用与管理信息系统的研制[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 7-11
- [30] 王人潮, 史舟, 胡月明. 浙江红壤资源信息系统的研制与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 50-106
- [31] 杨联安, 史舟, 王人潮, 陈铭臻. 红壤资源信息系统的研制及其初步应用[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 25-30
- [32] 张维理. “中国土壤肥料信息系统系列产品的推广及应用”项目通过专家验收[EB/OL]. [2004-07-15]. <http://www.inrrp.com.cn/>
- [33] 龚子同, 张甘霖, 陈志诚. 土壤发生与系统分类[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [34] 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[J]. 地理科学, 2001, 21(5): 401-405
- [35] 史学正, 于东升, 潘贤章, 孙维侠, 王洪杰, 龚子同. 我国 1:100 万土壤数据库及其应用[A]// 石元亮. 面向农业与环境的土壤科学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 142-145
- [36] 张定祥, 潘贤章, 史学正, 杨金玲, 林杰. 中国 1:100 万土壤数据库建设中的几个问题[J]. 土壤通报, 2003, 34(2): 81-84
- [37] 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[J]. Soil Survey Horizons, 2004, 45(4): 129-136
- [38] 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[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2 279-2 283
- [39] 史学正, 于东升, 高鹏, 王洪杰, 孙维侠, 赵永存, 龚子同. 中国土壤信息系统(SISChina)及其应用基础研究[J]. 土壤, 2007, 39(3): 329-333
- [40] 吴运金, 赵玉国, 张甘霖. 基于 SRTM 数据的中国 1:100 万 SOTER 地形体的构建[J]. 土壤, 2010, 42(1): 123-130
- [41] 陈水森, 江璐明, 彭沛全. GIS 与遥感技术在土壤类型数据库中的应用——以珠江三角洲为例[J]. 水土保持通报, 1998, 18(4): 23-26
- [42] 薛立民, 常松, 石书兵. 克拉玛依土壤详查数据库系统[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4): 122-125
- [43] 张国枢. 1:50 万 SOTER 制图与数据采集——以辽河下游地区为例[J]. 土壤通报, 1999(S1): 35-38
- [44] 马建, 鲁彩艳, 赵倩, 陈欣, 史奕. AnnAGNPS 模型土壤数据库的建立——以柴河上游小流域为例[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(S1): 151-155
- [45] 李涛, 张甘霖, 周勇. 水耕人为土资源数据库的建立[J]. 土壤通报, 1999(S1): 50-52
- [46] 张明, 张洪业, 李秀彬, 黄荣金, 冷疏影. 利用已有资料建立京津塘 1:50 万 SOTER 数据库的实践与问题讨论[J]. 土壤通报, 1999(S1): 32-34
- [47] 周红艺, 何毓蓉, 张保华. 长江上游典型地区数据库支持下的土壤肥力评价[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 748-751
- [48] 原立峰, 谢永生. 黄土高原土地信息系统数据库的建设[J]. 土壤, 2005, 37(4): 333-336
- [49] 颜安, 蒋平安. 基于 GIS Server 的罗布泊“大耳朵”地区土壤信息系统[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 233-236
- [50] 申健, 常庆瑞, 俞方圆, 俞方圆, 马廷刚, 李慧燕. 秦巴山区土壤信息系统的建设研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 155-159
- [51] 林杰. 赣、闽、浙三省红壤资源信息系统及其应用的研究(硕士学位论文)[D]. 南京: 南京林业大学, 2002: 24-34
- [52] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER 支持下 ALES 模型对海南省热带作物适宜性评价研究[J]. 地理科学, 2001, 21(4): 344-349
- [53] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER 数据库支持下的土壤质量综合评价——以海南岛为例[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 377-380
- [54] 余伟敏. 建立海南县级 1:2.5 万 SOTER 数据库的方法[J]. 华南热带农业大学学报, 2002, 8(1): 18-23
- [55] 赵玉国, 张甘霖, 龚子同. SOTER 支持下海南土壤侵蚀模拟与影响因子分析[J]. 土壤通报, 2003, 34(3): 119-224
- [56] 吕成文, 崔淑卿, 赵来. 基于 HNSOTER 的海南岛土壤有机碳储量及空间分布特征分析[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1 014-1 018
- [57] 丁榕, 张培松. 橡胶园土壤数据库系统的设计与构建——以海南省儋州市为例[J]. 热带农业工程, 2011, 35(1): 11-16
- [58] 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[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(2): 119-124
- [59] 杨茹玮, 史学正, 于东升. 基于 1:5 万数据库研究土壤空间分异及其影响因素——以江苏省无锡和常州市为例[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 369-374
- [60] 张天雨, 吕晓男, 麻万诸. 浙江省金衢盆地土系数据库建设[J]. 农业网络信息, 2010(7): 55-57
- [61] 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[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 522-527
- [62] 林杰, 张金池, 彭世揆, 史学正, 庄家尧. 江西省 1:100 万土壤信息系统的构建[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(5): 106-110
- [63] 张学雷, 杨玉建, 肖光平. 山东省 1:100 万 SOTER 数据库的建立与初步应用研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, 32(2): 136-142
- [64] 檀满枝, 张学雷, 陈杰, 杨玉建. SOTER 数据库支持下以地形为基础的土壤多样性分析——以山东省为例[J]. 土壤通报, 2003, 34(2): 85-89
- [65] 包亮, 宇振荣, Van Engelen VWP, 刘云慧. 邯郸地区 1:25 万 SOTER 数据库研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 381-384
- [66] 包亮, 宇振荣, 门明新, Van Englen VWP. 1:25 万土壤及地形数据库及指标体系研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 259-263
- [67] 杨锋, 吴克宁, 吕巧灵. 基于 1:20 万数据库的河南省土壤空间分异及其影响因素研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 425-430
- [68] 吕成文, 沈德福, 陈云丰. 大比例尺土壤数据库的组织与设计研究——以安徽宣城样区为例[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 122-125

- [69] 赵明松, 程先富, 王世航, 谢勇. 安徽省土壤信息系统的设计与开发[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 441-444
- [70] 周勇, 张海涛, Birmin RV, Sibbald A, 汪善勤, 任意. 土壤资源与生态环境数据库的建立及应用——以三峡库区秭归县为例[J]. 土壤学报, 2002, 39(5): 653-663
- [71] 王振伟, 张海涛, 周勇. SOTER 数据库支持下的物元模型在农用地适宜性评价中的应用研究——以湖北省为例[J]. 河南农业科学, 2005(1): 41-45
- [72] 冯跃华, 邹应斌, 袁江, 李迪秦, 张杨珠, 朱小平, 黄运湘. 湖南省土种资源数据库管理系统的建立——以紫色土为例[J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 817-821
- [73] 周斌, 杨柏林, 汪红强. 贵州省土壤信息系统(GSIS)空间数据库的设计与建立[J]. 地质地球化学, 2000, 28(1): 68-71
- [74] 周斌, 杨柏林, 林沁园. 贵州省安顺市土地资源信息空间数据库的建立与应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 632-634
- [75] 彭志良, 高雪, 韩峰, 赵泽英. 贵州省土壤资源信息系统的建设研究[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(6): 226-228
- [76] 杨忠华, 刘方, 彭志良, 赵泽英, 李莉婕. 县域土壤资源数据库建设存在的问题及对策[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(4): 228-230
- [77] 何离庆, 黄席槌, 涂运华, 史海辉. 重庆市土壤信息系统设计[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2001, 24(2): 38-40
- [78] 陈学华, 何毓蓉, 徐建忠. 四川盆地 SOTER 数据库的建立方法[J]. 土壤通报(土壤系统分类与 SOTER 专辑), 1999, 19(5): 39-41
- [79] 吴玺, 谭宏, 夏建国, 邓良基. 基于 GIS、ES 的凉山州土壤数据库系统设计与实现[J]. 西南农业学报, 2002, 15(2): 95-99
- [80] 罗明云. 四川省南充市 GIS 土壤数据库系统设计的理论研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 61-64
- [81] 刘京, 常庆瑞, 岳庆玲, 陈勇, 王德彩, 陶文芳. 陕西省土壤数据库的设计研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 105-108
- [82] 杨联安. 中尺度土壤数据库的建立及其应用初探——以西安市为例[J]. 测绘标准化, 2001, 17(4): 14-17
- [83] 邵作宇, 常庆瑞, 陶文芳. 基于 ArcEngine 的陕西省土壤信息系统构建[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 125-129
- [84] 胡丽娜, 裴久渤. 甘肃省土壤资源数据库建立[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2 483-2 484
- [85] 陈志强, 陈健飞, 陈松林. 漳浦样区大比例尺 SOTER 数据库的建立及其初步应用[J]. 福建农业学报, 2003, 18(3): 139-142
- [86] 吴顺辉, 甘海华, 梁中龙, 李永涛. 基于 GIS 的广东省土壤资源信息系统构建研究[J]. 土壤与环境, 2001, 10(4): 307-310
- [87] 吴顺辉, 蒋成爱, 戴军, 胡月明, 梁中龙. WebGIS 在广东省土壤资源信息系统的应用[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2002, 23(2): 15-17
- [88] 赵玉国, 张甘霖, 周生路, 张华, 骆永明, 赵其国. 利用 DEM 建立香港土壤地体数据库[J]. 土壤, 2003, 35(2): 160-164
- [89] 黄彬, 蔡德利. 黑龙江省区域土壤数据库管理系统的设计与应用[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2009, 21(5): 17-20
- [90] 白思杰, 魏忠义. 基于 J2EE 与 ArcIMS 的城市土壤信息系统的设计与实现[J]. 土壤, 2011, 43(2): 323-328
- [91] 张冬明, 吴鹏飞, 郝丽虹, 张永发, 漆智平. 土壤资源信息系(SRIS)的形成发展及应用[J]. 农业信息科学, 2007, 23(11): 380-383
- [92] Lagacherie P, Mcbratney AB. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: Perspectives for digital soil mapping[J]. Developments in Soil Science, 2007, 31: 3-22
- [93] 朱阿兴. 精细数字土壤普查模型与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008
- [94] 王晋民, 王海景, 康晓东. “数字土壤”应用于耕地质量管理的初步构想[J]. 山西农业科学, 2007, 35(9): 11-14
- [95] Batjes NH, Van Engelen VWP. Guidelines for the Compilation of a 1 : 2,500,000 SOTER Database (SOVEUR Project) [R]. Wageningen, Netherlands: ISRIC, 1997
- [96] FAO. A Framework for Land Rvaluation[M]. FAO Soils Bull, 32, 1976
- [97] Rossiter DG, Van Wambeke AR. Automated Land Evaluation System(ALES) [M]. Ver.4 user's manual. SCAS Teaching Series T93-2. Ithaca. NY: Cornell University, 1993
- [98] 王恰堂, 高林, 张世清, 毕小刚, 任伏虎. 北京郊区水土流失信息系统的建立与应用[J]. 水土保持学报, 1989, 3(2): 1-9
- [99] Bai ZG, Dent DL, Schaepman ME. Quantitative Global Assessment of Land Degradation and Improvement: Pilot Study in North China[R]. Wageningen, Netherlands: Report 2005/06, ISRIC-World Soil Information, 2005
- [100] 朱松丽, 陈育峰. 全球变化中土壤信息系统的研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(5): 488-494
- [101] Rotmans A, Riezebos O, SOSA. SOTER Salt Status Assessment Progrmme[CP]. Beta version. Wageningen, Netherlands: ISRIC, 1997
- [102] V á rallyay GY, R é dly M, Muranyi A. Map of soils to acidification in Hungary[A]// Szabolcs I. Ecological Impact of Acidification. Proc. Symp. Environmental Threats to Forest and Other Natural Eco-systems[C]. Oulu, Finland, Nov.14, 1988: 79-94
- [103] 姚凌, 章莉萍, 张淑杰, 周增坡. 土壤环境质量数据库设计与实现[J]. 土壤, 2011, 43(5): 842-849
- [104] Bouma J, Booltink HWG, Finke PA. Use of soil survey data for modeling solute transport in the Vadose Zone[J]. Environmental Quality J., 1996, 25: 519-526
- [105] 张定祥, 史学正, 周明江. 论精确农业与中国土壤信息化建设[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(3): 306-310
- [106] 刘顺国, 邢岩, 李金凤, 徐志强, 何琳, 代继光, 王永欢. “数字土壤”及其在测土配方施肥中的应用前景[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1 740-1 741
- [107] 庄卫民. 土壤调查与制图技术理论方法应用[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 9-11
- [108] 龚子同, 陈志诚, 骆国保. 中国土壤系统分类参比[J].

- 土壤, 1999, 31(2): 57-63
- [109] 陈健妞. 福建主要山地土壤分类参比研究[J]. 福建农业学报, 2002, 17(2): 98-103
- [110] 孙继光, 王秋兵, 魏忠义. 浅谈阻碍数字土壤技术普及的主要因素及解决途径[J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(1): 109-111
- [111] 高鹏, 史学正, 于东升, 王洪杰, 孙维侠, 赵永存. 基于 WebGIS 的中国土壤信息查询系统研究[J]. 土壤, 2008, 40(1): 9-15
- [112] 吕成文, 王晓铃. SOTER 数据库的特点及其应用[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 184-187
- [113] 丁红娟, 沈明霞, 卢之慧. 基于遥感和 GIS 技术的农田信息管理系统[J]. 浙江农业科学, 2010(4): 899-902
- [114] Worstell B. Development of Soil Terrain (SOTER) Map Units Using Digital Elevation Models (DEM) and Ancillary Digital Data (M. Sc. Thesis) [D]. Indiana, USA: Purdue University, 2000
- [115] 黄杏元, 汤勤. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 244-246
- [116] 柴敏, 郭治兴, 魏秀国. 数字土壤博物馆系统构建及关键技术研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(增刊): 274-276

## Advance in Digital Soil and Its Application

XIN Wen-wen<sup>1,2</sup>, LIU Jian-li<sup>1\*</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Digital soil is a relatively hot point and advanced direction in the field of soil sciences in the world in recent years. This paper summarized the concept and the development of digital soil, revealed the wide application prospect of digital soil, gave an analysis to digital soil problems that appears in researches, and prospected the future of digital soil and made some suggestions.

**Key words:** Digital soil, Soil information system, Soil database, Research advance