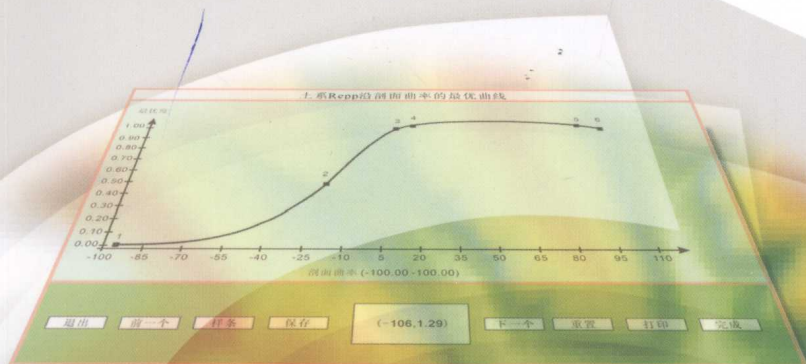




地理信息系统理论与应用丛书

精细数字土壤普查 模型与方法

● 朱阿兴 等 著



$S \leftarrow f(E)$



科学出版社
www.sciencep.com

地理信息系统理论与应用丛书

精细数字土壤普查模型与方法

朱阿兴等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

精细数字土壤普查模型与方法是指利用现代空间分析技术、人工智能和机器学习的方法,基于模糊推理理论获取空间上详细、数学上精确的土壤空间变化信息的方法。本书对精细数字土壤普查的理论和技術及其应用进行了系统研讨,内容包括数字土壤普查的现状、基于模糊逻辑的精细数字土壤的表达模型、定量描述土壤环境要素空间变化的分析技术、获取土壤与环境关系知识的人工智能和机器学习方法、模糊推理的计算手段以及应用实例。在所附的 CD 中,为读者提供了软件系统和实际数据,便于读者实践。

本书主要读者对象为从事自然资源(如土壤资源、动物生境等)调查、自然灾害(如滑坡)预测和其他地理信息技术应用的科研人员及大专院校相关专业的师生。

图书在版编目(CIP)数据

精细数字土壤普查模型与方法/朱阿兴等著. —北京:科学出版社,2008
(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-021521-5

I. 精… II. 朱… III. 数字技术-应用-土壤普查 IV. S159-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 043279 号

责任编辑:韩 鹏 朱海燕 王日臣/责任校对:曾 茹

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 11 月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—3 000 字数:344 000

定价:89.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

其他作者名单

李宝林	裴 韬	秦承志	杨 琳
王 平	刘 峰	李润奎	刘 京

序

中国自古以来就是一个农业大国,以世界 5% 的耕地却养活了世界 20% 的人口。然而近几十年来,由于中国制造业的迅速崛起、城市化的进程加快、资源的过度开发、全球环境的变化加剧、人口的持续增长,致使土地资源的“质”不断下降,“量”不断减少,土地资源保护与中国经济和文明发展之间的矛盾日益突出。

要解决这个矛盾,必须依赖精细农业的试验与推广、土壤污染的评价与治理、高精度的生态模拟与预测等多项措施,而实施这些措施需要细致、高效、准确地了解土壤的类型分布、理化性状、肥力以及污染状况等与土壤有关的精确信息。

自新中国成立以来,我国已经陆续开展了两次全国性的土壤普查,动用了全国农业以及相关行业的力量,对了解当时我国土壤的“家底”起到了非常重要的作用。然而,传统的土壤普查技术是以手工方法和大量野外样本为基础,不仅降低了土壤普查的效率,延长了普查的周期,而且也迫使土壤普查成本居高不下。因此传统的土壤普查技术已经难以适应当今社会和经济发展的需要。

近年来,由于“3S”技术的飞速发展,获取地理环境信息的成本大幅降低、周期大幅缩减,同时精度却不断地提高,而且以地理信息系统技术为核心的空间信息分析平台为处理地理环境信息提供了有力的工具。这些都为从更精细的尺度上智能化地实施土壤普查,并最终实现土壤普查技术的变革提供了先决条件。

朱阿兴教授潜心研究近 20 年,独辟蹊径地创建了以土壤-景观推理模型(Soil Land Inference Model, SoLIM)为核心的土壤详查方法体系,并成功地将其应用到美国以及国内的多个小流域。该方法吸收了传统土壤普查方法的精髓,利用“3S”技术、模糊数学理论和人工智能方法,通过获取土壤与环境因子间定量关系的知识,分析待定土壤与各既定土壤类型之间的相似度,从而达到土壤详查的目的。由于引入了模糊推理理论,该方法改变了传统土壤图非 0 即 1 的布尔式逻辑表达方式,转而生成可反映土壤空间渐变性质的数字土壤图,提高了土壤属性表达的精确度。同时,该方法以地理信息系统为基础平台,以成本相对低廉且分辨率较高的对地观测信息作为土壤推理的基础,不仅大幅降低了普查的成本,从根本上提高了土壤普查的效率,而且进一步提高了土壤普查的精细度。此外,该方法充分挖掘了土壤专家的知识,克服了基于统计手段的土壤普查方法的局限性。

朱阿兴教授提出的基于土壤-景观推理模型的土壤详查方法给传统土壤普查方法带来了变革,在国际上独树一帜,并得到广泛重视:朱阿兴教授曾多次应邀做国际大型学术会议的主题报告,此方法已经被美国农业部采纳并应用到土壤普查的实践中;2003 年该方法被美国地理信息科学联盟列为美国地理信息科学对美国社会 and 经济发展有贡献的六大项目之一。基于土壤-景观推理模型的土壤详查方法和相关技术正在引领土壤普查实现从传统方式向现代方式的转变。

2004 年,朱阿兴教授在中国科学院“百人计划”的资助下回国研究,在中国科学院地理科学与资源研究所建立了土壤详查的研究团队,重点针对中国土壤调查的状况展开进

一步的探索,并根据国内的实际情况对该项技术实施改进。目前该技术已在黑龙江嫩江流域进行了尝试,取得了非常好的结果,这些成果也被收录于该书中。

《精细数字土壤普查模型与方法》一书对土壤详查的理论和技術进行了系统的阐述,并详细介绍了该技术在美國和中国的应用实例。书后附带有精细土壤普查的软件系统及详细说明,为这一技术的应用提供了方便,这也是少有的无私转让技术的方法。

这本书是朱阿兴教授近年来的一部力作,也是朱阿兴教授的第一部中文专著。书中内容是朱阿兴教授及其团队多年来的研究结晶,也是当前国内外专门论述土壤详查技术的第一本专著。该书的问世将对我国土壤普查技术的发展起到有力的推动作用,也将为解决环境污染、灾害评估等其他领域相关问题提供借鉴。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '赵其国' (Zhao Qian), written in a cursive style.

前 言

对精细(空间上详细、属性上连续)土壤信息的需求,在生态模拟、土地利用分析、水土保持、环境治理、自然资源管理和利用等方面均已得到充分的体现。目前,土壤空间分布信息(即土壤属性的空间变化)的获取往往成为很多地学研究和分析的瓶颈。一方面,传统的土壤空间分布信息的获取需要大量的野外考察,不仅耗资多、速度慢,而且因受交通条件的限制,交通不便地区的土壤普查甚至不能实现。比如全美国 1:24 000 的土壤普查历经了一百多年(1899 年至今)仍未完成,据估计美国土壤普查的费用每公顷约为 2~4 美元;另一方面,常规土壤图上所表示的土壤空间信息的详细程度与其他空间信息(如由数字地形模型上获取的地形信息和从高分辨率遥感图像上获取的植被信息)的详细程度不匹配。比如,中小流域的环境生态模拟,常常利用 30m×30m(或更高)分辨率的数字地形模型和与此分辨率相当的遥感数据来描述地形与植被条件的空间变化,但现有的土壤空间变化信息的详细程度往往要低于这些数据。美国可能是世界上具有最详细土壤空间信息的国家,但它最详细的、覆盖较广的土壤图的大比例尺仍为 1:24 000。这种土壤图图斑空间分辨率为 2.4~5hm²,要比上述的数字地形模型和遥感影像的分辨率粗 25~50 倍。这种分辨率的巨大差别严重降低了模型对土壤、植被和地形要素在空间上协同变化描述的准确性,以致模型的结果与实际情况差距很大。

随着地理信息科学及其他信息技术的迅速发展,学者们开始探讨如何利用新技术提高土壤普查的详细程度和精度(即 detail and accurate soil survey),加快普查速度,减少普查费用。国际土壤学会于 1990 年成立了土壤计量学(pedometrics)专业委员会,2005 年成立了数字土壤制图(digital soil mapping, DSM)工作组。2006 年 12 月在美国哥伦比亚大学成立了全球精细土壤制图网络(GlobalSoilMap.net),最近中国也加入了这个网络,并成为东亚地区联络枢纽点(由中国科学院南京土壤研究所维持这个枢纽)。这些组织和基础设施为精细数字土壤普查创造了良好的条件。目前精细数字土壤普查(又称数字土壤详查)不仅缺乏可行的技术,更主要的是缺乏一套理论体系,只有在理论和技术都健全的条件下,精细数字土壤普查才能成为现实,并在全球尺度上开展。

在这样的背景下,本书结合我们十多年的工作成果,对精细数字土壤普查的理论和及应用进行了较系统的研讨,以抛砖引玉的方式与同行们一起推动精细数字土壤普查的研究和实施工作。本书将土壤普查作为推理预测过程来探讨,不仅向读者介绍其理论和技术,同时也希望能让读者将这些理论和方法应用于实践。第 1 章介绍土壤普查和精细数字土壤普查的基本概念、土壤普查的现有方法和问题,旨在体现推理性精细数字土壤普查是解决这些问题的有效途径。第 2 章阐述精细数字土壤普查的理论基础,一方面从与土壤协同变化的环境因子入手,为推理性土壤普查作铺垫,建立精细数字土壤普查的基本思路;另一方面通过对土壤空间渐变性的分析和对模糊逻辑的介绍,建立基于模糊逻辑的、能有效表达土壤空间渐变的模型;最后在这基础上构建精细数字土壤普查的基本框架和步骤。第 3 章介绍获取能体现土壤空间变化的环境要素(environmental covariates)的

定量方法。第4章阐述基于人工智能、机器学习和空间分析技术获取土壤与环境关系知识(knowledge on soil-landscape relationships 或 soil-landscape model)的方法。第5章介绍精细数字土壤普查的推理过程,阐述如何将定量土壤环境因子与定量土壤环境关系知识相结合计算空间各点的土壤相似度及派生信息,从而实现精细数字土壤普查的目标。第6章通过实例对精细数字土壤普查的实施进行示范和解析,以便读者更好地了解精细数字土壤普查的概念和方法。第7章对精细数字土壤普查面临的问题和发展方向进行了探讨,希望能为在这方面有研究兴趣的读者提供建议和参考。

本书的宗旨是在介绍精细数字土壤普查理论和方法的同时,让有兴趣的读者能在实际中应用所介绍的技术。本书所附的CD和三个附录就是为了实现后者。所附的精细数字土壤普查软件(SoLIM Solutions 2.0)是免费为读者提供的正版软件;同时,为了帮助读者很快地掌握这个软件和精细数字土壤普查技术,附录2提供了软件的用户手册和操作说明。所附的数据是实例数据,其中包括环境要素数据层、土壤环境关系的知识及量化了的知识库。利用这些数据,读者可以直接运行 SoLIM Solutions 2.0,得出第6.1节和相关论文中的结果;读者也可以把这些数据作为模板,准备其他研究区精细数字土壤普查所需的数据,以提高实施效率。

本书的读者对象与目的:一是从事自然资源(如土壤资源、动物生境等)调查、自然灾害(如滑坡)预测、地理信息科学技术应用的科研人员及大专院校的师生,本书旨在为这类科研人员介绍能直接应用于其各自领域的快速、经济、精确的普查手段;二是从事地理信息科学技术应用与发展的科研人员及大专院校的师生,希望为他们更好地结合地理信息科学技术与应用专业,既解决应用领域里的问题,又促进地理信息科学的发展提供思路。

本书的研究和撰写工作得到了多方面的支持。在经费方面得到了中国科学院“百人计划”、“创新团队国际合作伙伴计划”(CXTD-Z2005-1)和“国家重点基础研究发展计划”(2007CB407207)的资助。本书无论在研究内容方面还是撰写方面都是一个团队的成果。研究内容是中国科学院地理科学与资源研究所和美国威斯康星大学地理系以及美国农业部合作的结晶,综合了 James E. Burt、施汛、齐峰、Edward M. English、王榕勋、Trevor Quinn、Michael P. Smith、刘健、Amanda Moore、秦承志、杨琳、李宝林、裴韬等同事多年的工作。在撰写方面,中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室的精细格网研究组的成员(李宝林、裴韬、秦承志、杨琳、王平、刘峰、李润奎、杜斐、刘京、陈腊娇)做了重要贡献。由于参与工作的人员太多,不能一一列入封面,但他们仍是本书的著者。李宝林撰写了第1章的主要部分并对本书第一稿进行了审阅;裴韬为统计方法部分提供了素材并完成对本书第三稿的审阅工作;秦承志完成了第3章中地形要素部分的撰写;杨琳在第2章、第4至第6章的撰写中起到了重要作用;王平撰写了第4章的主要部分,在本书的第五至第八稿的审阅中起到了重要作用,并对书中所引用的文献进行了整理;刘峰在第2、第3章的撰写中做出了贡献;李润奎协助了第6章的撰写和相关数据的整理;杜斐撰写了附录2,并是 SoLIM Solutions 2.0 的主要编程人员之一;刘京完成了对书中部分图表的制作工作,并承担对所有图表的整理,也在本书的第五至第八稿的审阅中起了重要作用;陈腊娇承担了部分彩图的配色工作。本书承蒙赵其国院士写序并指导,在撰写过程中还得到了张甘霖研究员、周成虎研究员等的指点和协助,在此表示衷心的感谢。

我非常感激我的妻子(周欧雅)和两个孩子(加荣与加鸣)对我的工作的支持。在本书的写作和其他科研工作中,我经常无法和他们共度周末和假期,有时长期不能在他们身边。对此,我深感内疚,对他们的理解和支持充满感激之情。

本书所涉及的研究与工作是在美国开始的,很多资料和数据来自美国,无形中带着很浓的美国色彩,希望读者对此能谅解。由于本人的水平有限,书中难免有不当和错误之处,敬请读者批评指正。

朱阿兴

2007年8月

于中国科学院地理科学与资源研究所
资源与环境信息系统国家重点实验室

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 精细数字土壤资源普查的相关概念及必要性	1
1.1.1 相关概念	1
1.1.2 必要性	2
1.1.3 可能性	4
1.2 土壤普查及其发展现状	4
1.2.1 传统的土壤普查	4
1.2.2 新兴的土壤普查方法与数字土壤制图	7
1.3 土壤资源调查存在的问题	11
1.3.1 传统土壤普查方法与制图中存在的问题	11
1.3.2 新兴的土壤普查方法与数字土壤制图中存在的问题	15
1.4 精细土壤普查技术的概述和特点	15
1.5 本章小结	16
参考文献	16
第 2 章 精细土壤普查的理论基础和基本思路	21
2.1 土壤与地理环境间的关系	21
2.1.1 土壤发育与环境因素的关系	21
2.1.2 影响土壤形成的环境因素	23
2.1.3 土壤与环境因素间的协同性	26
2.2 精细土壤普查的基本思想	26
2.2.1 基本假定	26
2.2.2 精细土壤普查的理论框架	27
2.3 详细土壤空间变化的表达模型	28
2.3.1 土壤的空间变化特征	28
2.3.2 模糊逻辑的基本概念	28
2.3.3 栅格模型的基本概念	30
2.3.4 土壤空间变化的相似度模型	31
2.3.5 相似度模型与类别多边形模型	32
2.4 精细土壤普查的基本步骤	32
2.5 本章小结	33
参考文献	34

第3章 土壤环境要素信息的获取	36
3.1 环境要素的选取原则	36
3.1.1 选取与土壤空间差异相关的环境要素	36
3.1.2 选择可获取的环境要素	36
3.2 地形要素信息的提取	37
3.2.1 地形属性的提取	38
3.2.2 地貌部位信息的定量描述	47
3.3 植被要素空间分布信息的提取	52
3.3.1 植被类型的定性信息	53
3.3.2 植被属性的定量信息	53
3.4 其他环境要素信息的提取	56
3.4.1 母质条件	56
3.4.2 人为因素	56
3.4.3 时间要素	56
3.4.4 气候要素	56
3.5 本章小结	57
参考文献	57
第4章 土壤与环境关系知识的获取	62
4.1 土壤与环境关系知识的内容及其隶属度函数的表达	62
4.1.1 土壤与环境关系知识的内容	62
4.1.2 土壤与环境关系知识的隶属度函数表达	63
4.2 土壤普查专家知识的获取方法	66
4.2.1 土壤普查专家知识获取方法的基础——个人构念理论	66
4.2.2 知识获取过程	67
4.3 基于大量野外样本的知识获取方法	76
4.3.1 神经网络方法	76
4.3.2 决策树	81
4.3.3 其他基于大量样本的知识获取方法	84
4.4 基于案例推理的知识获取方法	87
4.4.1 基于案例推理的假设	88
4.4.2 基于案例推理的土壤与环境知识的获取和应用	88
4.5 基于已有土壤图的知识获取方法	89
4.5.1 土壤图所包含的土壤与环境关系知识	89
4.5.2 从土壤图中挖掘知识的过程	90
4.6 目的性采样的知识获取方法	94
4.6.1 理论依据	94
4.6.2 目的性采样的知识获取步骤	94
4.7 本章小结	98
参考文献	99

第 5 章 土壤相似度的计算及其派生信息的生成	103
5.1 土壤相似度的计算	103
5.1.1 基于隶属度曲线的推理过程	103
5.1.2 基于案例的土壤推理过程	106
5.1.3 基于神经网络的推理过程	107
5.2 土壤相似度派生信息的生成	107
5.2.1 土壤类型栅格图及其不确定性图	108
5.2.2 类常规的多边形土壤图	112
5.2.3 土壤属性图	112
5.3 本章小结	115
参考文献	116
第 6 章 土壤详查的实例	117
6.1 精细土壤普查方法在美国的应用实例	117
6.1.1 研究区概况	117
6.1.2 专家知识	119
6.1.3 环境要素数据库	121
6.1.4 推理制图	123
6.1.5 精度检验	126
6.2 精细土壤普查方法在中国的应用实例	128
6.2.1 研究区概况	128
6.2.2 环境要素数据库的建立	129
6.2.3 土壤与环境关系知识的获取	131
6.2.4 推理制图	138
6.2.5 土壤类型栅格图精度评价	140
6.2.6 土壤属性制图及其评价	142
6.3 精细土壤普查的整体评估	144
6.4 本章小结	145
参考文献	145
第 7 章 研究方向及展望	146
7.1 研究方向与发展趋势	146
7.1.1 土壤与环境关系知识获取方法的完善	146
7.1.2 反映土壤空间差异的环境要素和信息获取技术的完善	147
7.1.3 土壤的空间相关性和土壤与环境相关性的综合	147
7.1.4 精细土壤普查所获信息的应用	148
7.2 精细土壤普查在我国的应用前景	148
7.2.1 必要性	148
7.2.2 可能性与面临的主要问题	149
7.3 本章小结	149
参考文献	150

附录 1:所附 CD 的内容	151
附 1.1 3dMapper	151
附 1.2 神经网络软件和实例数据	151
附 1.3 美国威斯康星州 Raffelson 流域的实例数据	151
附 1.4 精细土壤普查软件	151
附录 2:SoLIM Solutions 软件使用手册	152
附 2.1 快速入门	152
附 2.1.1 软件概览	152
附 2.1.2 新建工程	153
附 2.1.3 推理制图	160
附 2.1.4 查看结果	161
附 2.2 使用指南	163
附 2.2.1 工程管理	164
附 2.2.2 环境要素数据库管理	170
附 2.2.3 知识库管理	174
附 2.2.4 土壤推理	191
附 2.2.5 结果验证	195
附 2.2.6 产品生成	198
附 2.2.7 地形分析	200
附 2.2.8 其他工具	204
附 2.3 其他资料	212
附 2.3.1 文件后缀说明	212
附 2.3.2 所附 CD 中有关 SoLIM Solutions 的内容及其说明	213
附录 3:美国威斯康星州 La Crosse 县 Raffelson 流域精细土壤普查所需数据	215
附 3.1 与土壤专家访谈得到的专家知识	215
附 3.1.1 由土壤专家确定的流域内主要土系	215
附 3.1.2 与土壤空间分布相关的环境要素	216
附 3.1.3 土系与环境之间的对应关系(按地质条件归类)	216
附 3.1.4 隶属度曲线	221
附 3.2 环境要素层	221
附 3.3 结果精度检验数据	221
附 3.3.1 对土壤类型(土系)分布的检验数据	221
附 3.3.2 土壤属性(质地)分布的检验数据	225
附 3.4 所附 CD 中有关 Raffelson 流域数据的组织	227

第 1 章 绪 论

土壤是地球表面可以支持植物生长的疏松矿物质或有机质,是人类赖以生存的最基本的资源条件。对土壤资源的质量、数量以及空间分布的准确认识,是充分、合理、持久地利用土壤资源的基础。土壤普查是获得土壤空间分布信息的基本方法。从 19 世纪末开始的土壤普查已经历了百余年的发展(USDA,1999^①),形成了以土壤-景观模型为基础,以多边形为基本表达方式,以手工勾绘为基本技术,依据地形图、航空像片或卫星像片进行土壤制图的基本范式(Hudson,1992),为农业生产等提供大量的基础数据。这种土壤普查方法通常被称为传统土壤普查(traditional soil survey)或传统土壤制图(traditional soil mapping),所产生的土壤图往往被称为传统土壤图(traditional soil maps)。随着现代精细农业的不断发展、应用“3S”技术对资源与环境问题研究的逐步深入,大部分传统土壤图的详细程度已经不能满足这些领域的需要(Beven and Kirkby,1979; Corwin et al.,1997;Zhu and Mackay,2001)。因此,发展能获得更详细土壤资源信息的土壤普查方法就显得十分必要。

1.1 精细数字土壤资源普查的相关概念及必要性

1.1.1 相关概念

土壤资源普查(soil resource inventory),即土壤普查(soil survey),用于描述某一地区的土壤特征,并根据标准的土壤分类系统进行土壤分类,绘制土壤图,最终预测土壤行为。在土壤普查过程中,对于不同土壤的利用方式与人类采取相应的管理方式都要予以考虑。土壤普查可为土地利用规划、土地利用对环境影响的评价和预测等提供基本信息(USDA,1993^②)。传统土壤图的编制通常采用多边形的方式,可表达的最小多边形(即上图图斑)大小决定了土壤图的详细程度,最小多边形的大小与所要绘制的土壤图的比例尺大小成反比,比例尺越大,土壤图上可表达的最小多边形就越小。通常情况下,由于比例尺的限制,最小多边形内所包含的土壤类型往往不止一个。土壤制图单元就是用来表达多边形内不同土壤类型组成成分的,是常规土壤普查及制图的重要概念(详见 1.2.1 小节)。

鉴于我国早期土壤普查的实际情况,我国的土壤普查的含义与世界上发达国家(如美国)土壤普查的含义略有区别,而且在一定程度上具有特定的含义。我国的土壤普查主要

① USDA. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. <http://soils.usda.gov/technical/classification/taxonomy/>, 2004-11.

② USDA. 1993. Soil Survey Manual. <http://soils.usda.gov/technical/classification/taxonomy/>. 以后多次出现,不再一一标注。

是指在政府部门统一的组织下,动员全国的力量来完成全国的土壤资源调查和制图、土壤资源的有效管理与利用措施的制定;而发达国家的土壤普查是由专职的专业人员长期从事的一项工作。如果将普查认为是非专业性的群众性的活动,而将调查作为专业人员的活动的话,发达国家的土壤普查实际上相当于我国的土壤调查(soil investigation)。为了与国际接轨,在本书中我们采用国际上赋予土壤普查的含义,即指专业性很强的工作。

精细数字土壤普查(detail digital soil survey or detail digital soil mapping)是指利用现代空间分析方法和计算机技术获取空间上详细、属性上精确的土壤普查技术。在理论基础和基本范式方面,精细数字土壤普查与传统土壤普查是一致的,即基于推理性的普查,但在表达方式和普查方法上有很大区别。精细数字土壤普查在空间上采用栅格(即像元,也称像素)的表达方式,空间分辨率为 10m 或更细,其比例尺相当于 1 : 10 000 或更大。通常认为 10m 或更小栅格范围内的土壤是均质的,可忽略其内部差异。在属性上每个栅格内的土壤是用与某个土壤类型的相似程度来表达(详见第 2 章)。在普查方法上采用现代空间分析方法和计算技术推理计算土壤信息,从而产生数字格式的栅格土壤图(详见第 5 章)。

1.1.2 必 要 性

精细数字土壤普查是发展精准农业的要求(Peterson, 1991)。精准农业是当今世界农业发展的新趋势,它是在全球卫星定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)支持下,根据土壤性状与作物生长状况的空间差异,对农田实施定位、定时、定量管理的一整套现代化农事操作技术与管理系统。其基本含义是根据田块内部各点的土壤现有肥力与作物生长所需肥力间的差异,对其进行定位、定量的“系统诊断、优化配方、技术组装、科学管理”,从而提高土壤生产力,并减少化肥和农药的使用量,以最节省的投入获得与传统农作方式同等或更高的收入,最终实现既提高农业生产效益又减少农业环境污染的双重目标。详细的土壤资源空间信息是实现精准农业的基础,因此发展新的土壤资源详查方法与技术具有十分重要的意义。

精细土壤资源普查也是治理日益加剧的土壤污染的要求。随着现代工业化和城市化的加速,废水、废气、废渣和城镇生活垃圾的排放急剧增加,导致由重金属、农药、抗生素、持久性有毒有机物、放射性物质和病原菌等造成的土壤污染越来越严重。一方面造成土壤理化性质恶化,耕地质量降低;另一方面也严重地影响食品安全,直接危害人们的身体健康。要实现有效的土壤污染风险评估以及受污染土壤的修复与治理,了解详细的土壤属性信息及其空间变化是达到这些目标的基本要求。

精细土壤资源普查是提高环境变化模拟精度的要求(Band and Moore, 1995; Zhu and Mackay, 2001)。人类正面临着全球环境变化和社会可持续发展的巨大挑战,全球环境的恶化已经对人类生存造成巨大的影响。采用环境模型来模拟未来环境变化已成为预测环境变化趋势的重要方法,而详细的土壤信息是这些环境模型所需的基本参数。

目前,传统土壤普查与制图方法是获取土壤空间分布信息的主要来源,但是由于受到最小多边形的约束,传统土壤普查方法所产生的土壤图中的土壤空间变化信息往往与其他基于地理信息系统和遥感技术的精细空间信息不匹配,这种不匹配会致使地理分析得

出截然不同的结论。图 1.1 展示了传统土壤图上的信息与由数字地形分析所获得的精细高程和坡度信息之间的不匹配及其造成的影响。图 1.1(a)表示常规土壤图上的土壤表层厚度与海拔和坡度在一个地形剖面上的变化,从此图中可以得出“土壤表层厚度只与坡向有关,而与地表的坡度无关”的结论。图 1.1(b)表示在精细土壤信息下对同一地形剖面上土壤表层厚度与海拔和坡度变化的描述,在体现坡向对土壤表层厚度的影响之外(北坡比南坡厚),也体现了坡度的影响(土壤表层厚度随地表坡度的增大而减小),但在高海拔的平展地区,土壤表层厚度与地表坡度之间呈现了相反的关系,即陡坡区的土壤表层厚度比平缓区的厚度大。图 1.1(b)所示的关系更符合实际情况:随着坡度的增大,土壤侵蚀的程度增大,因此土壤表层厚度会减小;反之,土壤表层厚度增加。但在高海拔平展地区,由于排水不良,在坡度大的地方排水较好,从而土壤发育较好,土层(包括土壤表层)较厚。这个实例充分说明了传统土壤图不能满足精准农业、环境污染治理、生态水文模拟及其他地理分析的需要。因此,研究详细、快速、准确地获取土壤空间分布信息的普查方法是很有必要的。

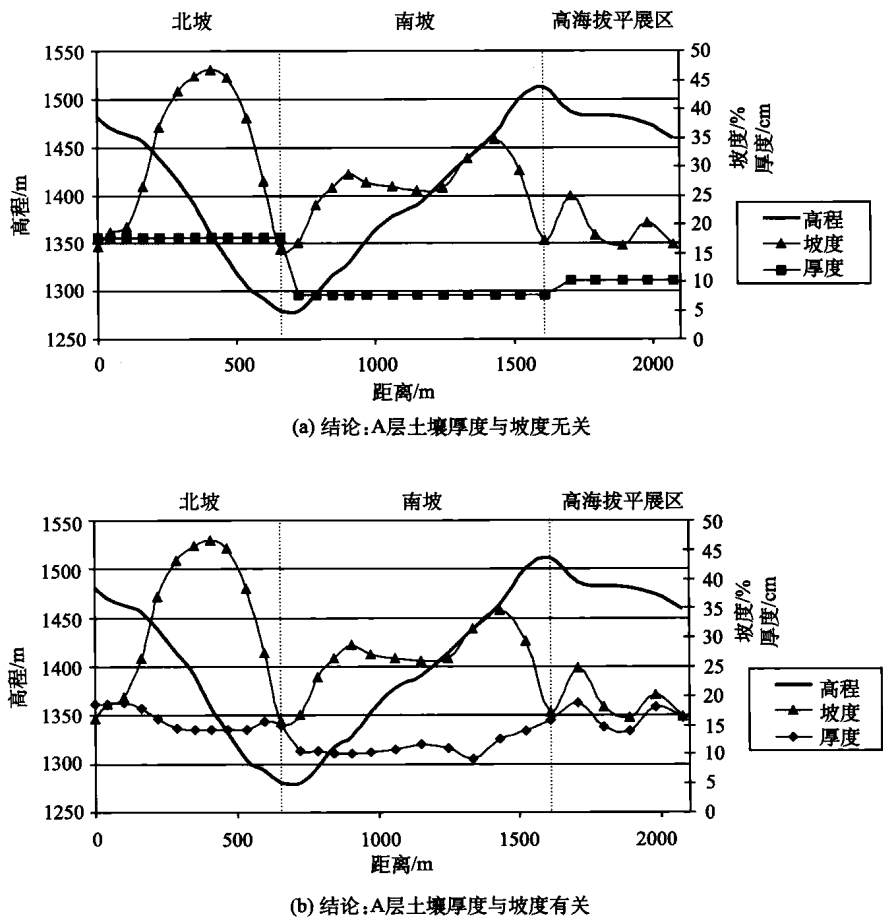


图 1.1 土壤图与精细空间信息的不匹配

1.1.3 可能性

“3S”技术的飞速发展,一方面,大幅度提高了对地观测信息的分辨率,积累了大量高分辨率的空间信息;另一方面,也极大地增强了空间信息处理的效率和能力,这些高分辨率数据和先进的空间信息分析技术为精细数字土壤普查技术的发展提供了必要的数据基础和技术条件。同时,土壤普查专家通过对土壤空间变化的长期研究,积累了很多有关土壤空间变化及其与环境关系的知识,这些知识为精确地推测土壤的空间变化奠定了专业基础。因此,利用现有的技术和理论创建更加精细、高效、经济的土壤普查技术不仅是可能的,而且已成为土壤普查技术发展的必然趋势。

1.2 土壤普查及其发展现状

1.2.1 传统的土壤普查

1. 基本范式

传统土壤资源普查是以土壤普查专家“经验”和手工操作为基础的(Hudson,1992),其基本理论依据是 Dokuchaev 和 Hilgard 的土壤发生学理论——土壤是气候、地形、母质、生物和时间综合作用的产物(Glinka,1927;Jenny and Hilgard,1961)。在调查某个地区的土壤时,土壤普查专家首先通过野外调查建立土壤与景观关系的模型,然后根据这一模型,依据航片、地形图或卫星像片等信息将不同的土壤类型或土壤类型组合的空间分布归纳成土壤制图单元并手工绘制成土壤图(图 1.2)。美国的传统土壤普查技术和我国两次全国土壤普查所采用的技术都属于这个范畴(Glinka,1927; USDA,1993;宋达泉,1995;全国土壤普查办公室,1992;庄卫民,1995)。

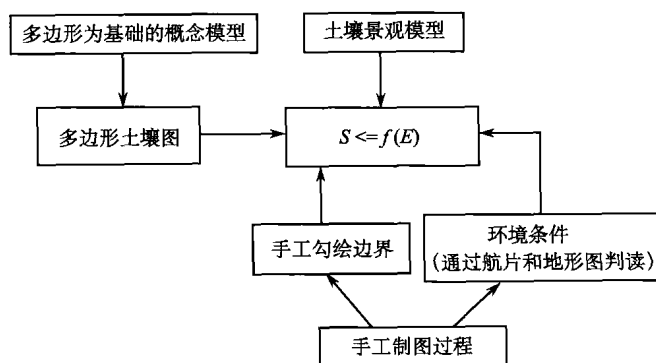


图 1.2 传统土壤制图的基本过程

尽管传统土壤普查技术的准确性和效率一直受到学者的质疑(Beckett and Webster, 1971;Burrough et al. ,1971;Oliver and Webster,1986;Zhu,1997),但随着比较权威的土壤分类方案(如美国的《土壤分类学》和《世界土壤图》)的引入和完善(USDA,1975;FAO,