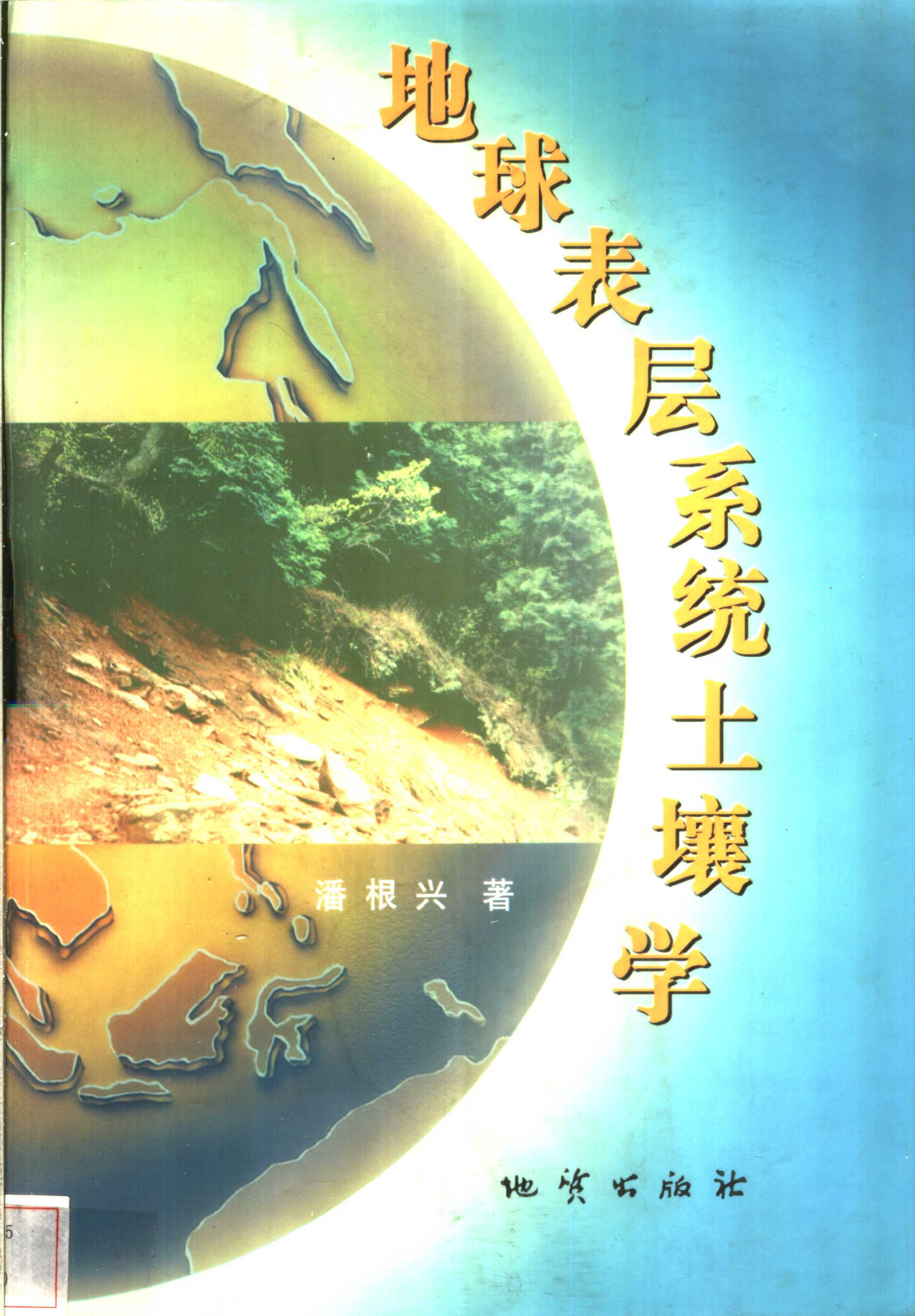




地球表层系统土壤学

潘根兴 著

地质出版社

地球表层系统土壤学

潘根兴 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是作者以地球系统科学原理探讨土壤及其与地球表层系统中资源、环境、生态诸问题的关系的一种尝试。全书共九章,重点阐述了地球系统科学的基本原理,系统科学的土壤观,土壤质量,土壤环境,土壤与全球碳循环,土壤退化与生态环境安全,土壤与第四纪环境变化等与地球表层系统研究密切相关的现代土壤科学热点问题。本书取材广泛,资料新颖,观点独特,理论性和前沿性突出。本书的显著特色在于,作者以其多年科学研究积累和国内外最新研究进展的详实资料讨论了土壤与地球表层系统过程的关系,并着重于土壤中有机-无机-生物的相互作用、土壤-水-生物-大气的多界面相互作用及土壤形成-环境变化-人类活动的相互作用。作者提出的地球表层系统土壤学研究对于地球科学和土壤科学的相关研究具有一定的指导意义。

本书可供高等学校和科研院所地球科学、环境科学、生态学和农业科学教学和研究人员参考,对于从事国土资源调查、自然资源和环境保护、土地资源评价等有关研究和管理人员也有较高的参考与应用价值。

图书在版编目(CIP)数据

地球表层系统土壤学/潘根兴著. -北京:地质出版社, 2000.12
ISBN 7-116-03268-1

I. 地… II. 潘 III. 土壤学-研究 IV. S15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 57622 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:蔡卫东

责任校对:黄苏晔

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:220000

2000 年 12 月北京第一版·2000 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:25.00 元

ISBN 7-116-03268-1
S·25

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前言

让我与草木为友，和土壤相亲，……

……林语堂《生活的艺术》

当人们陶醉于土地的收获时，享受着自然界绿色的生命和由此组成的各种奇妙的生态系统和美不胜收的景观时，土壤何尝不是与人类休戚相关呢？我们的灵魂何尝不是在疏松的泥土里蠕动，沉浸在大自然的赐予与快乐之中呢？这样说来，认识和研究土壤，不仅仅是为了得到我们所需的食物和纤维的供应，而更是为了人类能够持续地、舒适地生活在地球的大自然里。

当农民赤着双脚，赶着黄牛，在田地里耕耘的时候，他（她）首先关心的问题是改造土壤、培育土壤而使之生产出人们期望的更多的农产品，这无疑应该是土壤学家感到责无旁贷的任务。然而，当我们看到人类社会经济的发展，带来了触目惊心的资源退化、生态破坏和环境污染的问题的时候，我们对土壤的认识就显得非常肤浅和片面，而一味地利用、开发土壤显得对大自然不那么公平了。我们开始注意到土壤问题变得十分复杂起来，这些问题与我们未来的农业发展与食物供应、未来的生存和社会的可持续发展紧紧地联系在一起。于是，我们有责任在大学推动和发展土壤学教育和研究，也有责任向社会传播土壤科学思想与理念，帮助全人类保护我们的亲密朋友——土壤。

土壤科学是一门理性科学，更是一门强烈依赖于感性认识的理性科学。笔者投师于我国已故著名土壤学家——黄瑞采教授作土壤发生分类研究时期，有幸频繁地接触他老人家数十年对土壤的观察与思考的经历，对其丰富的土壤学知识与深厚的土壤野外感性积淀产生了由衷的敬佩，也使笔者开始入门于土壤学。在读《土壤学基础与土类各论》一书时，深感地理学对土壤学研究之重要。而黄老先生在 80 年代积极倡导的土壤生态学研究方向展现了土壤学发展的生态学之窗。继之，80 年代中期以后的地球系统科学理论及其研究方法论的兴起，以及最近以美国学者 J. Philips 所著的“Earth Surface System”一书为代表的地球表层系统理论不断发展，笔者深感要全面、客观、历史地研究和认识土壤，必须将土壤置于地球表层系统的框架中，借助地球系统科学思维与方法。所幸，近十几年来，借助于主持与参加的科研工作，笔者经常加入土壤-地质学、土壤-人类-环境相互作用、土壤-地质环境-社会持续发展相互关系等有关交叉学科的学术活动与交流，多次得到了赵其国院士关于土壤圈层理论、袁道先院士关于地球表层系统及表层带地质作用动力学的指导与教诲，并通过我的朋友郭正堂教授有机会接触和学习刘东生院士关于地质环境系统及其第四纪环境变化的理论与思想。凡此种种使笔者对土壤与环境、土壤与全球变化、土壤与生态系统等方面积累了较多的资料，丰富了笔者对土壤的感知，开拓了认识和研究土壤的视野。所有这些均构成了写作本书的知识源泉与动力。

近 20 年来高等院校的土壤学教育滞后于科学界对土壤的研究。新近陆续出版的土壤学

教科书，大大弥补了大学本科土壤学教育的缺陷。应该说，本书并不试图成为一本土壤学的系统教科书，也不是一本囊括现代土壤科学研究各方面进展的高级土壤学专门著作。作者只希望本书能从一个方面反映土壤科学的进步以及土壤科学研究与资源、环境、生态等现代科学研究热点领域的关系，而对于农业资源与利用、资源环境科学以及生态学、农业科学等专业的研究生与教学、研究人员有一定的参考价值。本书原是作为资源环境学院有关专业博士、硕士研究生的土壤学专题选论的必修课教材，通过几年来的教学实践，几届听课博士、硕士研究生的广泛讨论，并陆续吸收、容纳了最新的研究进展，得以构成目前的框架。

应该说，本书的许多内容基于笔者近年来对土壤科学的研究、探索的实践认识，这应归功于国家自然科学基金委员会、教育部科技发展中心和江苏省科技厅多年来对本人及本学科研究工作的支持。并且通过这些研究工作笔者有幸参加了多次国际、国内的高级别学术会议和关于地球科学、环境科学与持续发展的学术论坛，尤其是国家自然科学基金委员会于1999年7月和11月分别召开的农业持续发展和区域持续发展的论坛，中国科协组织的青年科学家论坛。在本书脱稿之际，笔者特别要感谢国家自然科学基金委员会地球科学部各位老师，我从他们那里不仅仅是得到了项目资助，而且更多的是对本人从事土壤学与地学交叉研究的关心、支持和鼓励。

本书编写过程中得到了资源环境学院领导和同事们的关心、支持。我的学生李恋卿、曹建华、石盛莉、周运超、王连峰、张艳玲、张旭辉、谢昌仁等帮助收集资料、文字整理和打印。某些章节是部分学生和笔者共同编写的，李恋卿、曹建华和周运超分别参加了第四章、第五章的编写。笔者要感谢本学科胡锋教授对本书编写的良好建议和支持，感谢南京农业大学领导批准笔者辞去行政工作，保证了笔者有较充足的时间从事专业研究和教学。要特别指出的是，南京农业大学研究生处对本书的编写出版给予了慷慨的经费支持。没有这些，这本拙作是难以面世的。

笔者深感土壤之复杂，土壤学研究之深广。而自己对土壤学的研究和认识只是沧海一粟。本书的许多方面可能挂一漏万，甚至可能是片面的或者肤浅的。笔者愿与土壤学同仁继续共同探讨，共同推动我们的土壤学研究和教育事业。这里笔者愿意用美国著名生物学家 P. Kennedy 的一段名言作为本书的楔子：

我们对科学怀有如此激情，并不是因为科学能使我们自己变得富裕，而是因为科学能让我们通过明白那些美妙而又神奇的事物，从而使自己成为有用的人。

目 录

前言

第一章 绪论 土壤科学——由从属科学走向主导科学	(1)
第一节 关于土壤的认识及土壤科学的建立	(1)
一、古代对土壤的认识	(1)
二、近代土壤学的萌芽	(2)
第二节 土壤科学的发展及现代土壤科学学科体系	(2)
一、土壤研究的广泛积累	(2)
二、现代土壤科学及其特点	(3)
第三节 现代土壤科学作为主导科学展望	(4)
一、土壤科学正在成为主导科学	(4)
二、土壤科学作为主导科学的主要研究领域	(5)
三、土壤科学作为主导科学的发展：技术与教育需求	(5)
第二章 地球系统科学与地球表层系统	(8)
第一节 系统科学概论	(8)
一、系统科学的形成与发展	(8)
二、系统科学理论及其意义	(9)
第二节 地球系统科学	(10)
一、地球系统	(10)
二、地球表层系统	(12)
第三节 地球系统科学的理论问题	(13)
一、“天地关系”与远地驱动力	(13)
二、地球系统的相互作用	(14)
三、地球表层系统与全球变化	(15)
四、系统过程与界面反应	(15)
五、无机-有机-生物相互作用	(16)
六、系统动力学：地球系统演化的动力与机制	(18)
第三章 系统科学土壤观与土壤科学	(20)
第一节 土壤及其地位和功能	(20)
一、土壤的现代概念	(20)
二、土壤在地球表层生态系统中的地位与作用	(21)
第二节 土壤系统论	(23)
一、土壤系统及其级位	(23)
二、土壤系统的控制论问题	(24)

三、土壤信息论问题	(27)
四、土壤的耗散结构问题	(28)
第三节 土壤微团聚体作为最基本的土壤系统	(30)
一、土壤团聚体与微团聚体	(30)
二、土壤微团聚体作为微土壤系统	(32)
第四节 地球表层系统下的土壤环境系统	(38)
一、土壤环境系统及其特征	(38)
二、土壤与土壤环境系统的本质	(40)
三、土壤系统与全球系统的相互作用研究：系统土壤科学的主导领域	(40)
第四章 土壤质量及其表征	(47)
第一节 土壤质量提出的背景：土壤与可持续农业	(47)
第二节 土壤质量概念	(48)
第三节 土壤质量与土壤系统功能	(49)
一、土壤质量与土壤肥力	(49)
二、土壤质量与土壤的生态质量	(50)
三、土壤质量与土壤的环境质量	(51)
四、土壤质量与各系统组元质量的关系	(52)
第四节 土壤质量的指标体系	(53)
一、农业生产实践所关注的土壤质量指标	(53)
二、农业土壤学的土壤质量指标体系	(54)
三、土壤质量的生物学与生态学指标	(54)
四、土壤质量的系统指标体系	(55)
第五章 土壤环境基本问题	(57)
第一节 环境与地球表层环境系统	(57)
第二节 土壤环境与土壤环境体系	(57)
一、土壤环境概念	(57)
二、土壤环境的基本特征	(58)
三、土壤环境类型	(64)
第三节 土壤环境学的任务与发展	(65)
一、土壤环境学的主要研究内容	(65)
二、土壤环境学的热点领域及其发展方向	(65)
第六章 土壤与全球碳循环	(70)
第一节 温室效应与地球表层系统碳平衡	(70)
一、全球系统碳库与碳汇问题	(70)
二、全球土壤碳库与分配	(71)
第二节 土壤碳的形态与活性	(73)
一、土壤有机碳存在形态及其移动性	(73)
二、土壤有机碳的转化	(75)
第三节 土壤碳转移与大气 CO ₂ 固存	(76)

一、土壤碳转移过程	(76)
二、土壤对大气 CO ₂ 的汇效应与土壤碳固存	(78)
第七章 土壤变化与土壤动力学	(82)
第一节 土壤变化的概念	(82)
一、土壤变化：土壤系统的普遍规则	(82)
二、土壤变化的类型	(82)
第二节 土壤变化的动力学特征	(84)
一、土壤变化的时间尺度	(84)
二、土壤变化的可逆性问题	(85)
第三节 某些演进性土壤变化及其速率	(87)
一、自然土壤形成与发育	(87)
二、人类活动影响下的土壤演变	(88)
第四节 关于土壤变化的节律与旋回问题	(91)
一、土壤变化的节律（小时间尺度）	(91)
二、土壤变化的旋回（大时间尺度）	(92)
第五节 土壤变化的模拟及其动力学模型	(93)
一、土壤变化模拟的原理	(93)
二、土壤变化与地球表层系统变化模拟实例	(94)
三、土壤变化的研究与建模的技术问题	(96)
第八章 土壤退化与生态和环境安全	(98)
第一节 土壤退化及其土壤环境系统背景	(98)
一、土壤退化的概念	(98)
二、我国土壤退化的土壤环境系统背景与驱动力	(100)
第二节 我国农业开发下土壤退化与生态安全	(103)
一、土壤退化与生态脆弱性	(103)
二、山区坡耕地农业与土壤流失	(105)
三、西部干旱区农业与流域生态安全	(108)
第三节 农业-土壤退化与环境安全	(111)
一、肥料过度施用与环境问题	(111)
二、高强度农业活动与土壤环境质量退化	(115)
第九章 土壤与第四纪环境变化	(118)
第一节 第四纪的概念	(118)
第二节 第四纪气候震荡性	(118)
一、不同尺度的气候震荡性	(118)
二、第四纪冰川	(119)
三、海平面变化	(121)
四、第四纪气候震荡中的重要事件	(122)
第三节 中国第四纪环境	(124)
一、青藏高原隆起及其对我国自然环境的影响	(124)

二、西北干旱盐积土壤环境系统的形成	(124)
三、黄土堆积与风积黄土- (多元发生) -土壤复合系统形成	(125)
第四节 土壤与第四纪记录研究.....	(126)
一、第四纪变化的地质记录	(126)
二、土壤记录与第四纪环境变化	(128)
三、土壤与第四纪环境变化研究中的一些问题	(129)
参考文献	(136)

第一章 绪 论

土壤科学——由从属科学走向主导科学

第一节 关于土壤的认识及土壤科学的建立

一、古代对土壤的认识

“民以食为天，食以土为本”，一语道出了土壤与食物供应的直接关系，土壤对于国计民生的关键所在。对于土壤的认识，源于远古时期人类由狩猎转向农耕的实践。在古代文字中，中文的“土”字，形象地说明了植物与土壤的依存关系。“土”，吐也，乃万物之源。因此，在“管子·地员篇”中就有土壤的描述及最早的土壤分类。这堪称中国古代土壤学的重要进展。1994年第14届国际土壤科学大会在墨西哥的Acapulca召开，其会徽为一玛雅文化的图腾，形象地反映了远古时期土壤与植物（食物）-动物-人类的关系，反映了人们对于自然界土壤的原始崇拜。现存于北京中山公园的社稷坛，为对应于地理方位的由红（红土）、黑（黑土）、黄（黄土）、蓝（盐土和低湿土）、白（沙漠和盐土）组成的我国陆地版图，生动地再现了在封建农业时代，土壤对于国家、民族的意义。直至近代，人们一直坚信，农业是社稷之本，而土壤是农业之本。

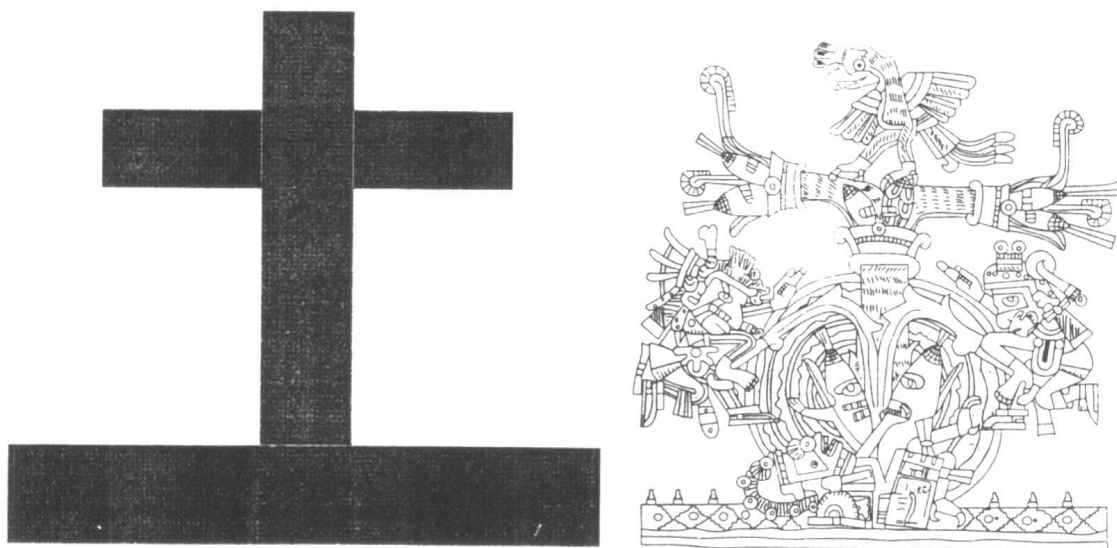


图 1-1 中文的“土”字与玛雅文化的图腾

二、近代土壤学的萌芽

中世纪欧洲文艺复兴后,科学文化得到很快孕育与传播。17世纪中叶后,农业科学探索与试验得到发展。19世纪中叶,德国科学家 Liebig 进行了柳树盆栽试验,证明了植物生长需从土壤中获取养分,因而揭示了土壤作为植物矿质养分来源的重要性。这时候,土壤在农业化学家眼中是一种“化学介质”——矿质养分的载体。1843年,英国 Rothamsted 开始田间土壤肥力与肥料使用的长期定位试验,至今已达 150 多年。E. J. Russell 1912 年开始整理总结,发表了“土壤条件与植物生长”报告,其成果的积累成为《土壤条件与植物生长》一书的源泉,该书成为土壤与植物营养的经典著作,影响了土壤与植物营养学界整整一个世纪。时至今日,关于土壤养分及其变化的研究仍是农业科学的重要内容。

近代土壤学的建立首推俄国地质学家 B. V. Dokuchaev, 他在 1870 年开始对俄国黑钙土进行了广泛的野外调查,于 1883 年出版了《俄罗斯平原黑钙土》一书,指出影响黑钙土分布与性质的因素有气候、母质、地形、时间及生物等因素,首次提出土壤发生起源与演化的问题,因而创建了土壤发生与分类学研究,这是自然土壤学 (Pedology) 成为自然科学分支学科的标志。

第二节 土壤科学的发展及现代土壤科学学科体系

一、土壤研究的广泛积累

20 世纪 30 年代以来,胶体化学、微生物学的发展,使土壤科学的认识与研究提高到新的水平。这时候,对于土壤化学体系、胶体特点与性质、土壤微生物有了初步认识,建立了土壤化学、土壤物理化学及土壤微生物学,这大大加快了现代土壤科学的发展。俄罗斯的另一位杰出的土壤学家威廉斯研究了土壤的演化与植被演化的关系,提出了土壤生物-有机体及土壤肥沃性(土壤肥力)的新概念,创立了土壤生物学研究方向,这是近代土壤学发展的又一里程碑(威廉斯土壤学在我国流传甚广,影响深远)。1938 年,美国土壤学家 S. Matson 根据物质循环的观点,提出土壤是岩石圈、水圈、生物圈和大气圈相互作用的产物。1942 年,美国著名土壤学家 H. Jenny 发表了杰出的著作《土壤形成因素》(Factors of Soil Formation),系统地讨论了土壤形成与气候(climate,简称“cl”)、生物(organgism,简称“o”)、地形(relief,简称“r”)、母质(parent material,简称“p”)和成土时间(time,简称“t”)等的相互关系,提出了土壤的状态与形成因素(即土壤发生学的成土因素)间的发生演化相关性,其状态因子理论(State-factor model)及成土因素方程指导了数十年的发生土壤学研究:

$$S=f(cl, o, r, p, t\cdots\cdots) \text{ 或 } S=f(clorpt\cdots\cdots)$$

这已被认为是地球科学中独立的土壤学理论的精华。40 年代至 50 年代初,对于土壤的物理、化学、生物以及土壤发生过程进行了深入而广泛的研究,这是土壤学原始创新研究最广,资料积累最多,认识出现飞跃的时期。1950 年,美国土壤学家 G. Smith 开始组织全美一大批活跃的土壤学家着手进行土壤系统分类,历时 25 年,于 1975 年公开发表《土壤

系统分类 (Soil Taxonomy)》一书,提出了一整套土壤发生发育、土壤识别鉴别、土壤分类归属的理论与方法。这标志着土壤科学由幼稚的应用其他科学的原理方法进行描述讨论发展到自身理论的建立与应用阶段,它同时标志着关于自然界土壤认识与研究的系统的理论框架与技术和方法的成熟。这一分类一直影响着 20 世纪后期世界各国土壤发生分类研究。

二、现代土壤科学及其特点

现代土壤科学的快速发展,可以追溯到 70 年代至 80 年代。这期间对于土壤的性质、功能与转化及其与其他自然体的关系的研究十分广泛而深入。系统科学理论与方法、现代物质成分、结构分析测试新技术的应用,信息系统及定位观测、监测网络的建立完善,并且地球化学、生物学、生态学、环境学等交叉学科的渗透和融合十分活跃。土壤学最基本、最广泛的应用对象是农业,它构成了以土壤肥力为中心的农业土壤学研究。英国洛桑试验站 Rusell 父子的《土壤条件与植物生长》巨著的多次出版,是 20 世纪农业土壤学经历不衰的生动体现。但是,随着 70 年代罗马俱乐部《增长的极限》一书的出版,全球自然科学界对资源、环境、生态的日益关注,土壤学面向资源、环境、生态系统的研究在 20 世纪末期方兴未艾,使土壤学研究范畴日趋广泛,学科交叉渗透日趋活跃,土壤学进入了全新而飞跃的发展时期。

20 世纪全球变化研究的活跃,使土壤学在自然科学之林中日益突出。90 年代初,国际土壤学会被国际科学联合会接纳为会员,如同其他国际基础科学学会一样。1998 年在法国 Montpellier 市举行的第 16 届国际土壤科学大会认为,当前关于土壤的研究已不再是单纯的土壤科学,而是一个学科体系齐全、门类众多、面向问题多样、基础性与应用性兼备的土壤科学体系 (Soil Sciences)。除了前述的农业土壤学外,以环境容量和环境过程为研究中心的土壤环境学,以土壤中养分循环和生境变化为中心的土壤生态学,以土壤景观与承载力和土壤质量为中心的土壤资源学,以土壤力学性质为中心的工程土壤学,以土壤的调节与媒介作用为中心的地球表层过程土壤学,以及以全球变化的土壤问题为中心的全球变化土壤学等新兴土壤学学科领域正在兴起与积累之中。复杂性 (complexity)、级序 (order)、尺度 (scale)、动态 (dynamics)、响应与反馈 (response and feedback) 等问题成为现代土壤科学的焦点。地球陆地生态系统中土壤的过程与机理 (process and mechanism)、影响与变化 (impact and change)、速率与动力 (rate and driving force)、形态与效应 (form and effect)、调节与控制 (regulation and control) 等问题都是现代土壤科学正在试图解决的科学问题和 21 世纪持续发展的基础科学热点,也是服务于其他科学的基本理论焦点。

在第 16 届国际土壤科学大会上,已决定将国际土壤学会更名为国际土壤学联合会 (International Union of Soil Sciences),该联合会目前下设如下 6 个学部:① (发生)土壤学 (Pedology);②土壤物理学;③土壤化学与矿物学;④土壤生物学;⑤土壤肥力与土地管理;⑥土壤保持与环境。基本上涵盖了现代土壤科学的分支学科体系。因此,土壤科学正在发展成为如同生物科学、环境科学、农业科学等自然科学的一级学科,其学科体系可用表 1-1 表示:

表 1-1 现代土壤科学学科体系

一级学科	二级学科	三级学科
土 壤 科 学	土壤发生与分布 (自然土壤学, pedology)	土壤发生学与地理学
		土壤形态学
		古土壤学
		土壤分类与制图
	土壤物理学 (soil physics)	土壤水分与溶质迁移
		土壤空气与土—气交换
		土壤结构与力学
	土壤化学与矿物学 (soil chemistry and mineralogy)	土壤粘土矿物学
		土壤胶体与表面化学
		土壤溶液化学
	土壤生物学与生物化学 (soil biology and biochemistry)	土壤微生物学
		土壤动物学
		土壤生物化学与酶学
	土壤肥力学 (soil fertility)	土壤养分及其利用
		土宜学
	土壤环境学 (soil environmentology)	土壤污染与控制
		土壤环境监测与评价
	土壤资源学 (soil resources studies)	土壤资源调查与评价
		土壤资源利用与保护
	土壤生态学 (soil ecology)	?
	全球变化土壤学 (study of soil and global change)	?

第三节 现代土壤科学作为主导科学展望

一、土壤科学正在成为主导科学

一门科学成为成熟科学的标志是本身理论体系的建立与支撑体系的完善。作为主导科学，它必须首先具有稳定的研究对象及社会接受与应用的普遍意义，其次是其原理、方法对于同类科学研究中具有广泛的指导和借鉴意义，其三是自身支撑技术体系的完善。作为地球科学的土壤科学，正在走向成为 20 世纪自然科学中的主导科学，在唯物辩证法和地球系统科学的指导下，逐步发展和完善自身理论与方法体系，日益服务于人类社会的科学认识、生产活动及生存发展的可持续。表 1-2 概略地提出土壤科学作为主导科学的知识框架体系。

表 1-2 土壤科学作为主导科学的知识框架体系

知识层面	理论及其服务	技术及其应用
指导与支撑层面	辩证唯物论, 地球系统科学, 物质科学	现代分析技术, 现代信息技术与计算机技术
中心层面	土壤发生发育理论, 土壤过程理论, 土壤物质形态与效应理论	土壤分析技术, 土壤监测网络
应用层面	农业发展, 环境保护, 地球表层过程	肥力分析, 环境分析, 生态分析

土壤科学作为主导科学的发展在 21 世纪将会不断加快。现代科学研究支撑技术的日益进步将是其主要的推动因子。21 世纪初土壤科学将基本上实现高分辨率分析技术、系统对比的监测与观测网络技术和信息系统与数字土壤技术的全面更新。

二、土壤科学作为主导科学的主要研究领域

土壤作为地球陆地系统的重要组成部分, 参与地球系统四大圈层的物质循环与能量交换。土壤学与其他地球科学分支学科以及生物学、农学、生态学、化学等相邻学科相互交叉渗透, 产生许多边缘交叉学科, 吸收不少新概念、新理论以及新技术、新方法。这为土壤学参与全球变化和生态环境建设研究, 为解决人类所面临的重大资源、环境问题提供了极好的机遇和条件。面向 21 世纪的全球资源、环境、生态和农业的严峻挑战, 土壤科学作为主导科学的研究领域包括如下几个方面:

(1) 土壤媒介的地球表层生态系统过程 通过土壤过程与地球表层系统过程相互关系的研究, 阐述土壤对这些过程的影响、机制和效应; 这些过程包括温室气体释放、大气化学变化与大气酸沉降的生态效应、地球表层系统中物质的跨系统迁移(如粉尘搬运), 沙漠化等以及岩石圈风化、岩溶作用与碳循环等。

(2) 土壤记录的高分辨率发掘为中心的土壤与第四纪环境变化 以土壤记录的新载体的发现, 记录信息的高分辨率提取以及环境变化(主要是气候变化)的替代性土壤指标的建立, 为阐述过去和未来人类环境的变化服务。

(3) 土壤养分平衡、土壤保持与培育为中心的土壤与农业可持续发展 以土壤中养分循环为中心, 集中于 C、N、S、P 及其他日益重要的生命有益元素(如 Se、I 等)在土壤与生态系统中的循环中的生物地球化学原理与活化、调控机制与技术研究, 以提高农业中养分利用率, 保证生物和人类的有效摄取与供给, 为农业发展服务。

(4) 土壤中有毒成分积聚、转化、移动效应为中心的土壤与环境问题 这方面的研究的基本问题是环境物质的数量与活性、形态与效应的研究。在对重金属元素在土壤环境中的积聚、活动、迁移和活化的过程及机理研究的基础上, 微量有毒有机污染物(如 PCBs)的土壤环境研究将成为主要任务。

(5) 土壤的生物多样性、生境变化与恢复为中心的土壤与生态系统演化 这方面是土壤生态学的主要研究内容, 微生物、土壤动物多样性及其生境, 土壤生物对生态环境的指示将会越来越受到重视。在过去对微生物多样性已有较多资料积累的基础上, 土壤原生动生态学研究在 80 年代以来越来越活跃, 正在成为土壤生态学的热点领域。

三、土壤科学作为主导科学的发展: 技术与教育需求

近代土壤科学从萌芽到学科建立花了差不多一个世纪, 而由 50 年代到 70 年代土壤科

学完成了由定性描述到定量研究的历史性转变。近 20 年来,土壤科学由定量研究转向机理模型研究。90 年代中期以来,土壤科学已进入地球系统科学指导的、现代分析技术与信息技术支撑的、交叉学科研究和精确表征的数字化时代。土壤科学研究在复杂性 (complexity)、级序 (order)、尺度 (scale) 和动态 (dynamics) 等方面均体现出当代主导科学的研究特征。作为主导科学,可以期望土壤科学研究对未来全球农业与粮食问题、生态环境与可持续发展问题的更广泛关注和深入而独到的研究,通过自身的科学和技术的贡献更为广泛地被社会和公众所乐意接受。

(一) 技术更新

(1) 生物技术 生物技术将成为未来土壤科学发展的主要技术依托。从土壤化学中土壤颗粒与微生物的相互作用到根际无机-有机-生物相互作用,再到土壤环境的生物修复,都有赖于生物技术的支撑。养分高效利用的基因型差异,土壤质量的生物指示,土壤环境污染的生物效应,土壤-植物相互作用的化学生态学都必须在生物技术支持下才能取得突破;

(2) 示踪技术 土壤科学已从定量描述研究走向动力学的实验研究。在基础研究中,模拟土壤(-环境或生态)系统正在成为实验研究的主流。人为的标记物 (labelling) 或自然标志物 (natural marker) 的应用是解决许多土壤-环境(或生态)系统黑箱过程的有效手段。例如碳循环研究中 ^{14}C 标记与 ^{13}C 自然丰度的标志,土壤侵蚀研究中的 ^{137}Cs 、 ^7Be (^{10}Be) 和稀土元素 Eu 的示踪,研究重金属、N、P 移动的放射性和稳定性同位素技术等。非同位素技术的生物(微生物)特定代谢产物的示踪研究目前不断活跃,如用特定脂肪酸指示某种细菌的活性等;

(3) 信息系统技术 信息系统技术是现代土壤科学的基本特征之一。信息革命中正在积极倡导的数字化将成为土壤科学信息系统技术的必然需求。数字地球要求我们要建立数字土壤,它将是土壤调查-土壤分类-土壤资源管理的桥梁。数字土壤的首要条件是国家或区域的土壤信息系统。

(二) 网络支撑

为了适应资源、环境、生态的宏观研究,有必要建设典型地区、典型生态系统中土壤质量监测-对比网络,作为国家土壤科学基础研究的基地和参照体系。这种网络应该是系统性的(土壤-植物-水-大气的系统定位监测)、层次性的(国家的、大区域的、特定感兴趣地域的)和多样性的(不同气候带、不同土地利用、不同农业生态系统)。这种网络可以在科学院现有的生态网络站的基础上建设,但必须在农业上扩展。

(三) 土壤科学发展的社会支持

1. 土壤学的教育与普及

土壤科学不只是土壤学家的,更应该是社会的。50 年代曾倡导全社会学习苏联威廉斯土壤学,这是当时扩大垦殖、大力发展农业的需要。当今我们面临的人类—自然的巨大矛盾,土壤科学并不只是农业科学的基础科学,而是作为资源-环境-生态问题的主导科学,应该取得社会的认识和参与,努力使之成为公众科学。除了高等土壤学教育为适应土壤科学的发展,必须大力拓展交叉学科教育外,对社会公众的土壤科学普及是我国土壤科学发展的必然要求。在通过出版物进行可能的普及的同时,土壤博物馆和土壤野外样本、剖面的保存和展示应列入政府和社会的科普教育基地建设内容。

2. 土壤科学研究的政府支持

我国土壤学发展最主要而紧迫的问题仍是条件上的温饱水平，不但与农业科学学科相比，而且与其他地球科学相比，经费和研究设施条件都存在较大差距。政府计划还应更多地支持土壤学研究，地方科学技术发展计划应当更多地吸纳土壤学研究建议。当然，土壤学自身必须更多地关注社会和公益的课题。

政府对基础研究的支持还应向建设土壤学研究基地方面倾斜。目前，我国土壤学研究的基础性工作还十分薄弱，基础性设施还非常不完善。土壤生态研究、土壤环境研究还缺乏系统的观测和定位试验网络。主要用于农业科学研究的土壤肥力长期监测网点也因经费短缺而无法进行长年的、多项目的观测与分析。这对土壤学的发展是不利的，但反过来也是土壤学研究资源的浪费。

第二章 地球系统科学与地球表层系统

第一节 系统科学概论

一、系统科学的形成与发展

(一) 系统的概念及其发展

系统是相互作用着的若干要素的集合体。人们对系统的认识经历了从系统思想→系统观→一般系统论→广义系统论的认识发展过程。

1. 古代

公元前，原子论的创始人德谟克利特（B. C. 460~370）在其著作《世界大系统》中首次采用“系统”一词；古希腊伟大的哲学家亚里士多德已认识到整体大于部分之和的系统要旨；与中国古代其他科学对世界科学的贡献一样，我国古代科学家对世界系统论的发展也发挥着重要的作用。荀子认为，万物为道一篇，一物为万物一篇，阐释了系统的观念《荀子·天论》。这是古代朴素的系统观。秦代李冰父子领导开凿的都江堰水利工程，即是古代系统思想应用的典型范例。这一工程堪称世界最早的系统工程。

2. 近代

18 世纪中后叶，莱布尼茨在《单子论》中指出，宇宙是被规范在一种完满秩序的统一体系中。一切事物对每一事物的联系或适应，以及每一事物对一切事物的联系或适应，使每一个单体具有表现其他一切事物的关系，并且使它因而成为宇宙的一面永恒的活镜子；继之，康德提出了知识的系统性观点；19 世纪杰出的哲学家黑格尔阐明了辩证系统观点；而马克思、恩格斯在研究资本的形成与社会发展的规律中创立了唯物辩证法，明确地提出了系统的概念和分析事物发展的系统思想。唯物辩证法是奠定现代系统论的哲学基础。

(二) 现代系统论

1. 一般系统论的形成与发展

贝塔朗菲于 20 世纪初发现一切生物都是在有限的时空中呈现复杂的层次结构，都是由要素或部分组成的有机整体，整体功能大于组成它的部分之和。不仅是生物体，而且世界上大多数事物都可以当作整体或系统来考虑。1968 年他出版了《一般系统论的基础、发展与应用》一书，从此创立了一般系统论；1948 年，西方两位科学家维纳和仙农几乎同时提出了控制论和信息论，这些理论极大地充实了一般系统论，使之形成现代系统论的雏形。

2. 现代广义系统科学

非线性科学与自组织理论是现代广义系统科学的中心理论，其主要科学思想来源于：

(1) 普利高津（1969）的耗散结构理论。

(2) 哈肯（1970）的协同学。