



## 基于文献计量分析的国内外土壤科学发展过程解析(1986—2014年)\*

文 / 宋长青<sup>1</sup> 谭文峰<sup>2</sup>

1 国家自然科学基金委员会地球科学部 北京 100085

2 华中农业大学资源与环境学院 武汉 430070

**【摘要】** 借助 Web of Science 和 CNKI 数据库,利用文献计量学方法定量分析了 1986—2014 年近 30 年来国内外发表的土壤科学文献,研究了土壤科学不同时期(1986—1995 年、1996—2005 年、2006—2014 年)发展与演变过程,对比了国内外土壤科学发展的异同点。早期的国际土壤科学是以土壤肥力主导的农田土壤学研究,逐渐转向关注以生态环境为核心的问题导向研究,以及强调土壤生物驱动的土壤过程研究;而我国土壤科学研究更注重区域特色,以地力提升、土壤侵蚀与水土保持、土壤污染与修复等问题导向更加明确,发展过程中学科间的交叉与融合不断增强。文章期望以文献计量学的分析方法客观评价土壤科学发展的脉络,把握学科发展前沿,提升土壤科学研究的创新能力,从而推动我国土壤科学的发展。

**【关键词】** 文献计量学,土壤过程,陆地表层系统变化过程与机理,驱动力

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.Z1.013

土壤圈覆盖于陆地表层,处于大气、生物、岩石、水等圈层的交接面上,是陆地表层系统的连接纽带,支持着地球主要生命过程,保持着生态系统的平衡。同时,土壤也是粮食、纤维、燃料等与人类福祉密切相关的、难以再生的自然资源;在应对或减缓环境污染、生态退化、能源短缺、气候变化等领域都至关重要。没有健康的土壤,地球上生

命将不可持续。然而,土壤退化已成为世界性难题,全球约 33% 的土壤因城镇化、水土流失、养分耗竭、盐碱化、干旱化和污染等带来严重挑战,可能引起土壤资源耗竭并导致整个文明的衰败。

土壤科学是认知土壤的发生过程、空间分布规律和人类干扰导致的土壤各种功能变化的物理、化学和生物学机理,为土壤资源合理利用和管理提供科学依据的学科。

\* 修改稿收到日期:2015 年 6 月 7 日



中国科学院

土壤科学作为典型的传统学科,在其发展过程中受其他传统学科体系不断发展和完善的影响,一些新的研究思路、研究方法和研究手段等持续被引入土壤科学研究领域;同时,其他学科研究者开始涉足土壤科学的研究,使学科交叉渗透频繁,新兴领域蓬勃发展。我国土壤科学的发展以满足国家和社会需求为主要驱动力,而关注土壤内部“关键过程”的核心主题研究却略显薄弱,使得学科发展的源动力略显不足。因此,如何科学、客观、定量描述土壤科学发展的脉络,是当前迫切需要思考的问题。本文期望通过文献计量学方法,总结国内外土壤科学近30年不同时期的发展历程和研究进展,促进我国土壤科学研究迈上新的台阶。

## 1 文献计量研究方法 with 数据来源

文献计量是以文献体系和文献计量特征为研究对象,采用数学、统计学、文献学等定量研究方法,研究所关注学科领域文献的分布结构、数量关系、变化规律和定量管理,进而探讨科学技术的内在结构、特征和规律<sup>[1]</sup>。某一学科或领域发表文献的多少和变化,不但在一定程度上反映了该学科的发展状况、规律及趋势,而且可以透视庞大的知识体系中各个领域的结构,理顺当代知识大爆炸形成的复杂知识网络,预测学科发展的最新态势,从而为某领域的理论研究和发 展提供有益的启示<sup>[2]</sup>。

本文从美国科学情报研究所出版的 Web of Science 中选择了代表土壤科学发展的期刊作为国际文献分析的数据源,通过关键词检索的方式从中国知网数据库(CNKI)确定中文文献数据源,分1986—1995年、1996—2005年和2006—2014年3个时间段检索,检索时间为2015年1月10日。共检索到国际英文文献350 265篇和国内中文文献57 495篇。采用信息可视化软件Citespace和文本挖掘分析软件TDA(Thomson Data Analyzer),结合自主开发的信息提取程序,综合定量分析科学知识图谱的方法绘制聚类视图,以可视化的图像

直观地展现出土壤科学不同发展阶段的热点领域与研究前沿。图谱中每个年轮大小代表关键词出现的频率,越大代表该关键词出现的频次越高;年轮颜色代表时间,粗细代表频率;关键词之间距离代表共现频率的高低,距离越近代表共现频率越高。

## 2 国际土壤科学近30年发展脉络

共检索到近30年的350 265篇国际英文文献,1986—1995年、1996—2005年和2006—2014年间的文献数量分别占总文献数量的18.7%、32.6%和48.7%,呈快速增长趋势。文献计量的网络图谱可较好地反映关键词在文献中出现的频次、关键词间的关联。图1—3分别为不同年限间土壤科学国际文献计量网络图谱。3个时段土壤科学发展的脉络差异较大:图谱脉络随时间推移由树枝状向网状发展,关键词间的距离逐渐减小、分异程度降低,不同研究领域间的交叉融合不断增强。关键词的词频在一定程度上反映土壤科学研究的主要热点领域:在过去30年,随着年限的增加,关键词出现的频次逐渐增多,特别是1996—2005年间较前10年频次增加了近4—5倍,土壤科学在此阶段受关注的程度上升趋势最为显著(表1)。前10位均出现“nitrogen”、“microbial biomass”、“rhizosphere”、“phosphorus”、“maize”等关键词,表明这些领域或内容一直是研究热点,持续受到关注;随着时间推移,“organic matter”、“erosion”、“heavy metal”逐渐成为高频关键词,表明这些研究领域越来越受到重视。由此可见,土壤科学在早期以土壤肥力主导的农田土壤学研究,逐渐发展为以生态环境为核心的问题导向研究,土壤生物主导的土壤过程研究越来越受到重视。

### 2.1 主要以农田土壤为对象,以农业生产为目标的应用基础研究时期(1986—1995年)

1986—1995年国际文献计量网络图谱中聚成了6个相对独立的研究聚类圈(图1),聚类圈之间相对离散。根据圈中的高频关键词可归纳为土壤肥力、营养元素、土壤矿物、土壤氮素、生物固氮5



个方面;其中有3个聚类圈都是和土壤氮素有关的研究,但它们所关注的内容不同。在聚类圈内出现了玉米、小麦、大麦、大豆等作物高频关键词,说明该时期的土壤科学主要是围绕大田作物开展的氮、磷、钾等大量营养元素的研究,其中又以土壤氮循环为核心。此外,土壤根际也是研究热点,研究涉及营养元素有效性与土壤根际微域环境间的关系<sup>[3,4]</sup>。可见,该时期是以土壤肥力主导的农田土壤学研究。

环中的关键过程<sup>[7-10]</sup>。土壤矿物聚类圈中主要围绕高岭石、蒙脱石和伊利石等矿物,利用XRD和TEM等技术,建立了一套完善的次生粘土矿物鉴定与半定量分析方法,研究了土壤形成过程中矿物的演化特点,探讨了土壤组分对重金属、表面活性剂等吸附解吸过程<sup>[11]</sup>。

1996—2005 年国际文献计量图谱呈网状,可将年轮圈大致分成 4 个聚类圈,分别为土壤养分、土壤有机碳与全球变化、土壤物理与侵蚀、土壤重金属的化学行为(图 2)。与前 10 年相比,此阶段国际土壤科学研究前 20 的高频词中与氮、磷有关的土壤肥力关键词频次进一步增加,在这 20 年间养分循环与高效利用始终是研究重点。同时在前 20 的高频词中出现了“erosion”、“tillage”、“heavy metal”、“nitrous oxide”、“adsorption”、“arbuscular mycorrhiza”、“leaching”、“soil quality”等关键词(表 1),意味着国际土壤科学开始关注水土流失、土壤污染、温室气体排放等生态环境问题,研究重点由土壤肥力主导的农田土壤学研究转向以生态环境为核心的问题导向研究。

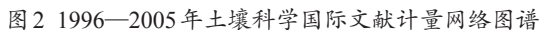


表1 国际土壤科学不同年限高频关键词

年限	1986—1995 年	1996—2005 年	2006—2014 年
排 前 20 位 关 键 词	nitrogen fixation (124)	nitrogen (505)	organic matter (758)
	nitrogen (114)	organic matter (501)	nitrogen (632)
	wheat (102)	erosion (424)	phosphorus (618)
	rhizosphere (99)	microbial biomass (403)	erosion (508)
	microbial biomass (94)	phosphorus (372)	microbial biomass (502)
	maize (79)	rhizosphere (296)	organic carbon (451)
	phosphorus (78)	tillage (290)	heavy metal (408)
	<sup>15</sup> N (77)	maize (274)	rhizosphere (340)
	nodulation (73)	heavy metal (260)	maize (326)
	root (71)	denitrification (259)	decomposition (326)
	nitrification (67)	earthworm (258)	nitrous oxide (310)
	aluminum (65)	nitrous oxide (247)	soil respiration (308)
	kaolinite (61)	decomposition (238)	arbuscular mycorrhiza (300)
	barley (61)	wheat (227)	earthworm (299)
	nitrate (59)	adsorption (220)	water content (289)
	decomposition (56)	nitrate (212)	adsorption (272)
	earthworm (54)	nitrification(208)	tillage(269)
	smectite (54)	mineralization (184)	wheat (266)
	soybean (50)	root (180)	grassland (263)
	N mineralization (50)	arbuscular mycorrhiza (180)	nitrification (252)

注:括号()中的数字为关键词出现的频次

在土壤有机碳与全球变化的聚类圈中,以土壤生物驱动的土壤有机碳转化与固定成为主要研究内容,建立了农田、草地、湿地、林地等陆地生态系统碳氮动态过程的系列模型<sup>[12]</sup>;农业土壤有机碳库的变化及其对陆地生态系统和大气 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 的源汇效应受到重视,西方国家已将固碳农业作为环境管理的导向,如美国的“Carbon bank”计划<sup>[13-15]</sup>。文献计量图谱显示土壤侵蚀研究中,土壤结构、团聚体稳定性、土壤容重、土壤耕作等直接或间接反映土壤物理性状的指标与土壤侵蚀关系的研究明显加强,土壤养分与土壤物理的交叉增多。土壤侵蚀模型研究得到快速发展,构建和完善了诸如 USLE、RUSLE 等经验模型以及 EUROSEM、WEPP、GUEST 等过程模型<sup>[16]</sup>。这一时期重点开展了镉、铜、锌等重金属在土壤组分上

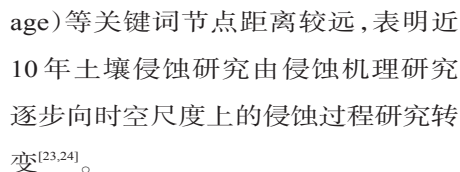
的静态吸附行为研究,结合表面光谱技术分析了重金属元素的表面配位、化学形态<sup>[17]</sup>,开发了系列机理量化模型<sup>[18,19]</sup>,深入理解和预测了金属离子在环境中的行为。

### 2.3 围绕土壤环境过程与全球变化的土壤物质循环和微观机理研究时期(2006—2014年)

相比前两个 10 年的文献计量网络图谱,2006—2014 年最大的特点是研究节点增多且相对集中,各研究领域间的交叉融合明显增强。聚类圈立体谱显示现有研究主要集中在土壤养分循环、以土壤碳为主线的全球变化、土壤侵蚀和重金属的环境行为等;还出现了以微生物多样性为主要内容的聚类圈,其他聚类圈中都或多或少地包含与微生物有关的关键词,加强了微生物在土壤过程中的作用研究,特别是生物技术(如变形梯度

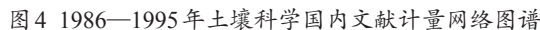


(erosion) 相对独立, 与土壤物理性质(soil structure, bulk density)、耕作管理(no till-



近30年发表与土壤有关的文献检索到57 500余篇,1986—1995年、1996—2005年和2006—2014年3个时段文献数量分别占总数量的12%、29%和58%,整体呈快速上升趋势。

“Organic carbon”、“soil respiration”、“grassland”、“climate change”和“carbon sequestration”等与碳循环有关的词汇都出现在前20的高频关键词中(表1),表明作为地球表层系统中最大的碳储库土壤碳汇的研究不断加强,在深化“固碳农业”的同时逐渐重视草地生态系统的固碳效应<sup>[20,21]</sup>。全球变化研究聚类圈中首次出现关键词“生物炭(biochar)”,并在土壤改良、水土保持、温室气体减排、以及污染环境修复等方面都展现出应用潜力。“Organic matter”“nitrogen”、“phosphorus”仍居高频关键词的前三位(表1),以土壤肥力为中心的土壤养分与元素的转化仍是国际土壤科学的研究重点;由于土壤微生物研究的加强,其关注点转向养分元素的生物地球化学循环过程研究。此外,植物修复作为有效净化水土资源的绿色环保方法越来越受到重视,文献计量网络图谱中显示微生物介导的植物修复理论与技术的研究成为目前土壤重金属污染治理研究中的生长点<sup>[22]</sup>。而土壤侵蚀研究聚类圈向全球变化研究聚类圈靠拢,圈中最大的关键词年轮圈



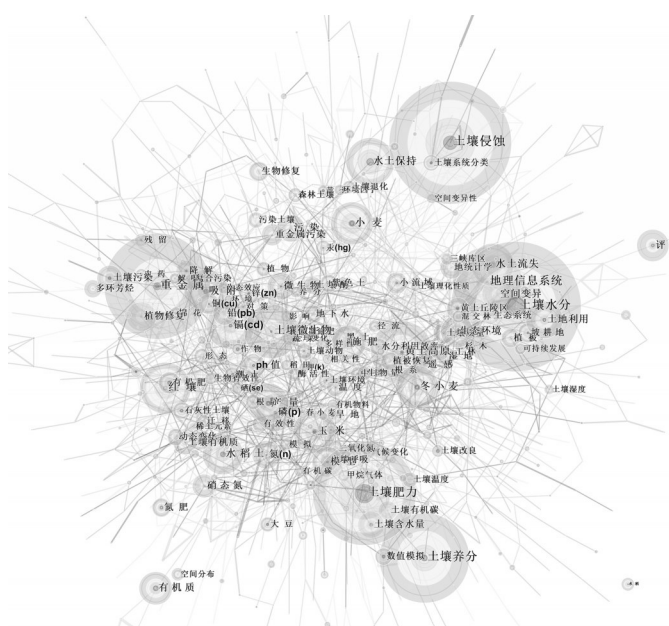


图5 1996—2005年土壤科学国内文献计量网络图谱



图6 2006—2014年土壤科学国内文献计量网络图谱

与功能的研究加强,国家和社会发展的需要逐渐成为土壤科学研究的主要驱动因素。可见,我国土壤科学在1986—1995年间以区域土壤研究为重点,进而发展为以土壤养分与肥力、重金属污染、水土流失等重大问题为导向的土壤科学研究,当前主要表现为学科间交叉不断加强的土壤科学研究。

### 3.1 以作物高产和土壤保肥为目标的基础土壤学研究时期(1986—1995年)

1986—1995年间网络图谱中年轮圈最大且与其他年轮圈交叉最为频繁的是“土壤肥力”、“土壤水分”、“土壤侵蚀”,以“红壤”、“紫色土”、“黄土”、“石灰性土壤”和“水稻土”为研究对象(图4)。但对不同区域土壤关注内容不同:红壤以土壤特性和退化为主,水稻土侧重于发生分类、土壤培肥,紫色土以土壤肥力为主,黄土重点关注土壤侵蚀与水土保持、古气候。这些区域典型土壤的研究为我国土壤学科在系统分类、肥力与改良、土壤侵蚀与水土保持等方面的研究奠定了基础。

年轮圈的交叉显示土壤肥力相关研究中,主要以旱地和稻田土壤为研究对象,采取定位试验、田间试验、模拟试验,研究了秸秆还田、有机物料、施肥等对土壤有机质、肥料利用率、作物产量的影响。这些研究提出了一系列提高土壤肥力的培肥措施,并利用微团聚体、腐殖质特性、土壤酶活性等指标来评价培肥效果。土壤退化方面主要针对南方不同类型退化红壤的时空变化,研究不同退化过程的形成机理,恢复与重建退化红壤的长期试验示范模式基地,同时建立红壤退化的预测预报体系<sup>[25]</sup>。完善了中国土壤侵蚀的分类分区系统,初步阐明了坡面土壤侵蚀过程,特别是关于黄土坡面侵蚀方式演变过程及机理,流域泥沙来源界定、小流域水土流失综合治理等方面的研究已经达到

或接近世界先进水平<sup>[26]</sup>。

### 3.2 高强度土地利用下的土壤学应用基础研究时期(1996—2005年)

如图5,1996—2005年间土壤科学研究的方向比较集中,相对较大的年轮圈主要是“土壤养分与肥力”、“重金属污染”、“水土流失”,几乎涵盖了绝大部分的研究内容。“土壤水分”、“土壤侵蚀”、“重

表2 中国土壤科学不同年限高频关键词

年限	1986—1995年	1996—2005年	2006—2014年
排 前 20 位 关 键 词	土壤侵蚀 (88)	土壤水分 (461)	重金属 (1490)
	土壤肥力 (86)	土壤侵蚀(437)	土壤水分 (995)
	土壤水分 (82)	重金属 (382)	土壤养分 (976)
	红壤 (58)	土壤肥力 (370)	土壤侵蚀 (688)
	紫色土 (57)	土壤养分 (329)	镉 (636)
	黄土高原 (56)	地理信息系统 (259)	土壤微生物 (609)
	石灰性土壤 (56)	黄土高原 (223)	产量 (562)
	水稻 (54)	土壤微生物 (206)	土壤有机碳 (540)
	水稻土 (54)	红壤 (197)	土壤酶活性 (533)
	小麦 (48)	水土保持 (183)	土壤肥力 (478)
	重金属 (42)	镉 (174)	地理信息系统 (461)
	吸附 (41)	水土流失 (166)	土壤呼吸 (461)
	微量元素 (40)	小麦 (164)	空间变异 (448)
	土壤养分 (39)	水稻 (164)	黄土高原 (429)
	水土流失 (38)	吸附 (163)	吸附 (426)
	水土保持 (37)	冬小麦 (159)	土地利用 (375)
	锌(Zn) (34)	玉米 (157)	玉米 (370)
	土壤微生物 (32)	水稻土 (155)	铅 (352)
	镉(Cd) (30)	产量 (154)	磷 (341)
	玉米 (30)	磷 (146)	土壤含水量 (340)

注:括号()中的数字为关键词出现频次

金属”、“土壤肥力”、“土壤养分”也成为这10年间出现频率前五的关键词,与1986—1995年间的高频关键词相比,频次增加了近5倍。说明我国土壤科学在1986—2005年间的主要科学问题比较一致,即首要的问题是土壤养分与肥力。但由于高强度土壤利用条件下,造成的环境问题日益突出,我国在土壤肥力与养分循环方面的工作中,加强了施肥的环境效应研究:(1)有机碳、甲烷、二氧化氮、气候变化的年轮圈与土壤肥力充分交融,开始注意到高产与环境的协调;(2)氮、磷、钾、微量元素、有效性、根际成高频关键词,冬小麦、玉米、产量间的连线错杂、密集,表明提高肥料利用效率、微量元素的根际过程受到重视<sup>[27]</sup>。

“土壤水分”位于最大年轮圈的中心,与“可持续发展”、“植被”、“坡耕地”、“土地利用”、“空间变异”、“地理信息系统”、“水土流失”、“地统计学”、“黄土丘陵区”、“三峡库区”等高频关键词交融在一起,表明以三峡库区和黄土丘陵区为主要区域,利用多种方法和手段对不同土地利用下土壤的水分问题展开了大量研究。同时开展了土壤-植物-大气连续体(SPAC)中的水分运动研究,提出了水流通量与水势差关系的假设,建立了作物根系吸水模式,为我国北方旱区农业节水开辟了新的途径<sup>[28,29]</sup>。从经典统计学到地统计学,使土壤水空间变异性的研究逐步由定性的经验描述走向定量的理论分析,为农田精确灌溉,水分、盐分的监测和管理提







图6 2006—2014年土壤科学国内文献计量网络图谱

供了科学依据。在土壤侵蚀过程与动力机制、环境效应等方面的研究取得长足进步,流域泥沙来源界定、小流域水土流失综合治理等方面的研究已达到世界先进水平<sup>[30]</sup>。从文献计量网络图谱还看到,“土壤污染与修复”年轮圈面积大,包含了“重金属”、“农药”、“多环芳烃”、“植物修复”等众多高频词汇,表明20世纪末我国经济的快速发展导致土壤环境与健康、土壤污染控制与修复备受关注。20世纪90年代中叶开始在重金属污染土壤的植物修复以及农药、石油和多环芳烃污染土壤的微生物修复等方面取得了显著进展;90年代后期重金属污染土壤的超积累植物修复研究在全国兴起,也带动了电动修复、化学锁定修复等土壤修复方法的研究,研发了砷、铜、锌等重金属污染土壤的植物修复技术,建立了植物修复示范工程,为土壤修复技术的实际应用做出了示范<sup>[31-33]</sup>。

### 3.3 围绕农业生产和环境功能的土壤过程、环境过程以及农田管理的系统研究时期(2006—2014年)

与前面两个 10 年的文献计量网络图谱相比, 2006—2014 年最大的特点是研究节点数量变少, 但高频关键词的大年轮圈与小年轮圈间的交叉和融合明显增强(图 6)。图谱中最大的年轮圈包含

了“重金属”、“沉积物”、“土壤含水量”、“水分利用效率”、“碳储量”、“秸秆还田”、“作物产量”、“耕作方式”、“土壤健康风险”、“小麦”、“大豆”、“蔬菜”、“富集系数”等众多高频关键词,表明这10年间不仅关注肥力、产量、水分等传统土壤学的研究,还关注人为活动产生的环境效应方面的研究,例如土壤改良剂、长期施肥、施肥措施与结构对作物产量和重金属含量、形态特征的影响,作物水分利用效率、耕作方式、退耕还林的水土保持效应等,从而实现人类活动和生态环境的协调发展。

网络图谱中的高频词还包括了“地理信息系统”、“空间变异”等,信息技术在养分资源综合管理中的应用,促进传统施肥向养分

资源综合管理的转变;依据复杂侵蚀环境和侵蚀发生过程的研究,提出我国土壤侵蚀因子评价指标和方法,不同尺度各因子对土壤侵蚀的影响和坡面、流域等尺度的侵蚀产沙传递关系,形成了适合复杂环境侵蚀预报模型构建的理论与方法。网络图谱中许多年轮圈(“长期定位施肥”、“土壤团聚体”、“土壤修复”、“植被恢复”)都与微生物(“活性”、“群落结构”、“酶活性”、“生物量”)包含或交叉,土壤微生物参与土壤关键过程的研究众多,成为土壤关键元素生物地球化学循环的引擎。在2005年国家自然科学基金委员会地球科学部组织召开“土壤生物与土壤过程”研讨会精神的推动下,国内主要土壤学研究单位提出了大量具有交叉性和前沿性的研究课题<sup>[34]</sup>。对土壤氮素转化微生物学机制<sup>[35]</sup>、土壤温室气体排放的微生物学机制<sup>[36]</sup>、土壤有机质的周转与肥力演变<sup>[37]</sup>、土壤矿物表面与微生物相互作用机理<sup>[38]</sup>、土壤中污染物生物转化的微生物学机制<sup>[39]</sup>、土壤微生物污染与控制机理等方面开展了系列深入的研究,提升了我国土壤微生物学研究的国际地位。

## 4 结语

近30年来,国际土壤科学研究文献数量快速





增长,特别是2006—2014年的发文量占了近30年总量的48.7%,从其发展脉络可看出,国际土壤学研究受到了学科发展和社会需求的双重驱动。土壤过程、演变和功能研究从传统的农田土壤学向地球临界带扩展,通过对临界带土壤的物质形成与大气、水、生物、岩石的交换和循环等研究,为理解陆地表层系统变化过程与机理提供基础信息,并融入地球系统科学。土壤科学研究借助系统科学新思维、物质科学新技术等进一步推动土壤学的认知水平和分析能力,使其宏观上更“宏”、微观上更“微”;同时,土壤科学与其他科学以及土壤科学分支学科间的交叉越来越明显,从而衍生出新的学科点。土壤生物学的研究逐渐发展为土壤科学研究的热点和前沿,成为土壤物质循环的主要驱动者和土壤生态系统的核心。

从文献计量分析的结果也发现,我国土壤科学与国际土壤科学的发展脉络存在差异。国际土壤科学的发展更强调学科基础,即土壤科学发展的内在驱动因素,在此基础上突出全球变化、环境污染等与人类福祉密切相关的新兴学科。而我国土壤科学在发展过程中突出了区域特色,以土壤地力提升、土壤侵蚀与水土保持、土壤污染与修复等问题导向研究更加明确。随着研究深入,国内外都强调过程与机理,通过机理揭示现象,生物的作用越来越明显;学科之间不断交叉、渗透与融合,并促进了土壤科学领域的科学发现和新兴交叉学科的产生。

从总体上看,我国土壤科学带有明显的区域特色,学科齐全,近30年来的研究取得了显著的进步,在国际上SCI论文数量比例由1986—1995年的0.6%上升至2006—2014年的14.0%。在研究的深度与广度上都有不同程度的发展,研究目标从自然土壤向与人类活动密切相关的农业、资源和环境

等方面转化,研究的时空尺度从全球、区域和流域到土链、田块、颗粒、结构、分子、原子等转化,研究手段则不断地借助于高新技术向信息化、数字化、网络化和集成化转变。但整体上仍处于跟踪国际前沿的水平,引导国际土壤科学研究方向的原创性研究成果较少。因此,未来我国土壤学研究任重道远,我国土壤学者还需继续努力,把握学科前沿,不断提高自身的科研竞争力。

**致谢** 感谢国家自然科学基金委员会地球科学部冷疏影研究员的宝贵建议;感谢中科院地理科学与资源所裴韬博士和高锡章博士提供的文献计量分析数据和网络图谱;感谢华中农业大学史志华博士在文献资料整理过程中的辛勤劳动。

#### 参考文献

- 1 赵蓉英,王菊.图书馆学知识图谱分析.中国图书馆学报,2011,37(2):40-50.
- 2 赵蓉英,许丽敏.文献计量学发展演进与研究前沿的知识图谱探析.中国图书馆学报,2010,36(189):60-68.
- 3 Boekhold A, Temminghoff E, Zee S. Influence of electrolyte composition and pH on cadmium sorption by an acid sandy soil. Journal of Soil Science, 1993, 44(1):85-96.
- 4 Jones D L, Darrah P R. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. Plant and Soil, 1994, 166(2):247-257.
- 5 Binnerup S, Sørensen J. Nitrate and nitrite microgradients in barley rhizosphere as detected by a highly sensitive denitrification bioassay. Applied and Environmental Microbiology, 1992, 58(8):2375-2380.
- 6 Cabon F, Girard G, Ledoux E. Modelling of the nitrogen cycle in farm land areas. Fertilizer Research, 1991, 27(2-3):161-169.
- 7 Hassink J, Bouwman L, Zwart K, et al. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. Geoderma, 1993, 57(1):105-128.

- 8 Petersen S O, Nielsen A L, Haarder K, et al. Factors controlling nitrification and denitrification: A laboratory study with gel-stabilized liquid cattle manure. *Microbial Ecology*, 1992, 23(3): 239-255.
- 9 Parkin T, Robinson J. Stochastic models of soil denitrification. *Applied and Environmental Microbiology*, 1989, 55(1): 72-77.
- 10 Demeyer P, Hofman G, Van Cleemput O. Fitting ammonia volatilization dynamics with a logistic equation. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59(1): 261-265.
- 11 Zevin L S, Kimmel G, Mureinik I. Quantitative X-ray diffractometry. New York: Springer, 1995.
- 12 Li C, Aber J, Stange F, et al. A process-oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils: 1. Model development. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 2000, 105(D4): 4369-4384.
- 13 Fisher M J, Rao I M, Ayarza M A, et al. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the south american savannas. *Nature*, 1994, 371: 236-238.
- 14 Beare M, Hendrix P, Cabrera M, et al. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(3): 787-795.
- 15 Smith P, Powlson D S. Considering manure and carbon sequestration. *Science*, 2000, 287(5452): 428-429.
- 16 Merritt W S, Letcher R A, Jakeman A J. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 2003, 18(8): 761-799.
- 17 Bradl H B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, 277(1): 1-18.
- 18 Kinniburgh D G, Milne C J, Benedetti M F, et al. Metal ion binding by humic acid: Application of the NICA-Donnan model. *Environmental Science & Technology*, 1996, 30(5): 1687-1698.
- 19 Hiemstra T, Van Riemsdijk W H. A surface structural approach to ion adsorption: The charge distribution (CD) model. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1996, 179(2): 488-508.
- 20 Shrestha G, Stahl P D. Carbon accumulation and storage in semi-arid sagebrush steppe: Effects of long-term grazing exclusion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 125(1): 173-181.
- 21 Wang X, Piao S, Ciais P, et al. A two-fold increase of carbon cycle sensitivity to tropical temperature variations. *Nature*, 2014, 506(7487): 212-215.
- 22 Aafi N E, Brhada F, Dary M, et al. Rhizostabilization of metals in soils using lupinus luteus inoculated with the metal resistant rhizobacterium *serratia* sp. MSMC541. *International Journal of Phytoremediation*, 2012, 14(3): 261-274.
- 23 Shruthi R B, Kerle N, Jetten V, et al. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis. *Catena*, 2014, 128: 262-277.
- 24 de Vente J, Poesen J, Verstraeten G, et al. Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: Where do we stand?. *Earth Science Reviews*, 2013, 127: 16-29.
- 25 赵其国. 我国红壤的退化问题. *土壤*, 1995, 27(6): 281-285.
- 26 唐克丽. 中国水土保持. 北京: 科学出版社, 2004.
- 27 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略. *植物学通报*, 2008, 24(6): 687-694.
- 28 邵明安, 黄明斌. 土-根系统水动力学. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.
- 29 康绍忠, 梁银丽, 蔡焕杰. 旱区水-土-作物关系及其最优调控原理. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- 30 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 1-7.
- 31 骆永明, 滕应, 过园. 土壤修复-新兴的土壤科学分支学科. *土壤*, 2005, 37(3): 230-235.
- 32 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展. *生态学报*, 2001, 21(7): 1196-1203.
- 33 周启星, 孙铁珩. 土壤-植物系统污染生态学研究展望. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1698-1702.
- 34 宋长青, 吴金水, 陆雅海, 等. 中国土壤微生物学研究10年回顾. *地球科学进展*, 2013, 28(10): 1087-1105.
- 35 贺纪正, 张丽梅. 土壤氮素转化的关键微生物过程及机理. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 98-108.
- 36 刘鹏飞, 陆雅海. 水稻土中脂肪酸互营氧化的研究进展. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 109-122.
- 37 李玲, 肖和艾, 吴金水. 红壤旱地和稻田土壤中有机底物的分解

与转化研究. 土壤学报, 2007, 44(4): 669-674.

38 荣兴民, 黄巧云, 陈雯莉, 等. 细菌在两种土壤矿物表面  
吸附的热力学分析. 土壤学报, 2011, 48(2): 331-337.

39 马强, 林爱军, 马薇, 等. 土壤中总石油烃污染(TPH)的  
微生物降解与修复研究进展. 生态毒理学报, 2008, 3(1):  
1-8.

## A Bibliometric Analysis of Soil Science in the Past 30 Years(1986—2014)

Song Changqing<sup>1</sup> TanWenfeng<sup>2</sup>

(1 Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

2 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract** Based on the Web of Science and CNKI(China National Knowledge Infrastructure)database, bibliometrics were used to quantitatively analyze the historical advances of soil science in the last 30 years. The newly developed information visualization technology——Cite Space and Thomson Data Analyzer(TDA)conducted the research focus and fronts of soil science during three periods(1986—1995, 1996—2005, 2006—2014) using 57495 and 350265 references in the domestic and international studies, respectively. Similarities and differences of soil science during different periods between domestic and international studies were compared according to the cluster analysis. At an earlier stage, international studies on soil science focused on agriculture soil studies with a priority on soil fertility. The studies then transfer to the ecological environmental investigations, with an emphasis on the soil key processes driven by the soil microbes. Meanwhile, the research of regional soil was the distinct characteristic of China's soil science. Most of these investigations focus on the increase of soil productivity, soil erosion and water conservation, soil contamination and remediation, which significantly demonstrated a continuously strengthened research progress and development trend of the intersection and the fusion among different subjects. The bibliometric analysis aims to provide an objective review of the soil science development process, promotes innovation and hence push for the development of soil science in China.

**Keywords** database, bibliometric, soil processes, driving force

宋长青 国家自然科学基金委员会地球科学部副主任, 博士、研究员, 主要从事地球科学基金项目管理及古生态学研究。E-mail: songcq@nsfc.gov.cn

Song Changqing, Ph.D, is currently a professor and deputy director of Earth Science Department at National Natural Science Foundation of China(NSFC). His main work includes project management of earth science at NSFC and research in palaeoecology. E-mail: songcq@nsfc.gov.cn



中国科学院