

# 面向不断变化世界，创新未来土壤科学

## ——第 19 届世界土壤学大会综合报道

赵其国，周健民，沈仁芳，滕应

(中国科学院南京土壤研究所，南京 210008)

### 1 本届大会概况

第 19 届世界土壤学大会，于 2010 年 8 月 1 日至 6 日在澳大利亚布里斯班召开。出席本次大会的代表来自全世界近 100 多个国家和地区，共 1 342 人，其中我国出席人员近 200 人。

本届世界土壤学大会开幕式由国际土壤学联合会主席 Roger Swift 教授主持。会议特邀了 8 个大会主题报告，分别为菲律宾国际水稻研究所所长 Robert Zeigler 博士，题目为“水稻与全球粮食安全：紧缩资源持续高产的挑战和面临气候变化”；美国哥伦比亚大学 Pedro Sanchez 博士，题目为“热带非洲地区作物产量增至三倍”；美国马里兰大学 Bruce R. James 博士，题目为“人类文明循环：通过美国西南部的阿纳萨齐人透视生态系统挑战与人类对土壤和水管理的创造性响应”；澳大利亚联邦科学与产业组织土地与水资源研究分部首席 Neil McKenzie 博士，题目为“澳大利亚土壤和土地管理面临的挑战”；国际水资源管理研究所所长 Colin Chartres 博士，题目为“改进水和土壤管理：未来粮食安全的关键”；国际肥料工业协会 (IFA) Luc M. Maene 博士，题目为“适应新的驱动因子和农业生产措施：肥料工业的挑战”。从上述大会主题报告内涵可以看出，当前世界正面临着资源、农业、生态、环境及人类文明进步的不断变化与挑战，土壤成为寻找解决这一系列问题的重要切入点，土壤科学的发展肩负着人类生存的重大现实任务。

本届大会共分 4 个部门 (Division)，21 个专业委员会 (Commission) 和 11 个工作组 (Working-group)，并设立了 8 个大会专题报告会 (Congress Symposium) 和 8 个部门专题报告会 (Division Symposium)。本次会议共收录论文 2 500 篇，其中口头报告 334 篇 (其中部门 1 有 58 篇、部门 2 有 58 篇、部门 3 有 50 篇、部门 4 有 42 篇、大会专题有 37 篇、部门专题有 38 篇、工作组有 51 篇)，高于上一届口头报告 320 篇，墙报 1 200 多个，内容涵盖土壤学各分支学科，内容丰富，

信息量大，充分反映了土壤科学及相关学科领域的最新研究进展与前沿。

本次世界土壤学大会的主题是“应对不断变化世界的土壤解决方案”。大会围绕土壤的时空演变、土壤性质与过程、土地利用与管理、土壤在社会和环境可持续发展中的作用 4 个方面，展开了充分交流与讨论。可以看出，4 年来全球土壤科学及相关领域在研究手段、技术方面得到了新的发展，研究内容有所拓展，研究思路充分扩展。在土壤空间尺度上体现了宏观上更宏，可延伸全球信息和全球变化等尺度、甚至至星际土壤学；在微观上更微，可在纳米、原子、分子、基因、蛋白组学、界面、颗粒、土体等尺度上展开土壤过程与作用机制研究；在土壤时间尺度上跨度更大，涉及古土壤发生过程的时间序列、陆地景观历史重建、土壤形成演化预测等；在土壤过程认识上更趋向于量化，提出计量土壤学概念，土壤变化的定量监测、土壤过程定量模型模拟等；在土壤性质上更多强调土壤化学、物理及生物界面反应机理与机制，尤其土壤生物地球化学界面、土壤-根界面、土壤-水界面行为等；在土壤利用上更多地涉及土壤评价与利用规划、水土保持、养分综合管理以及土壤退化控制、修复与再利用等；在土壤的社会环境效应上充分体现土壤的多服务功能，土壤与食物安全和人类健康、土壤和环境、土壤的自然资本、生态系统服务、土壤与全球变化、土壤与教育文化和人类文明等。这些认识提升有利于及时应对不断变化的世界，使土壤科学发展富有更高的战略需求，使土壤科学对国家生态文明建设真正有所为。

从世界土壤科学发展的区域来看，欧美等发达国家无论在基础理论，还是技术发展等方面仍然占据明显优势，大洋洲的部分国家也位居先进之列。随着科学技术的发展和土壤保护意识的提高，我国土壤科学研究水平得到显著提高，发展速度明显加快，但总体上还处于中等水平。与发达国家相比，仍存在明

显的差距,主要体现在基础理论原始创新缺乏、长期定位试验重视程度不够、基础数据长期积累缺少、分析测试技术落后、政府投入有限。因此,应充分结合我国土壤资源与现实问题的国情,瞄准土壤科学研究的国际前沿,加快中国土壤科学的国家战略规划,使我国土壤科学研究水平有一个大的提升和跨越。

鉴此,我们决定将本届世界土壤学大会的口头报告论文摘要,按会议的 4 大部门及其相应的专业委员会划分,选取重要的论文摘要,进行翻译,共计 300 多篇。为了便于读者阅读,我们首先在完成对本届世界土壤学大会进行综述报告后,将上述所有译文刊登在本文的后面,供大家参考。

我们召集的编译人员,主要是中国科学院南京土壤研究所和南京大学海洋与地理学院的 20 多名在职研究人员、教师和在读研究生,他们的名单均列在各有关翻译文章的后面。此外蒋新、骆永明、张甘霖、史学正、孙波、潘贤章、吴绍华、章海波、赵玉国、严慰东、李刚等同志,均参与部分校译及提供资料。由于时间仓促,翻译人员水平有限,其中错误在所难免,敬希读者多提宝贵修改意见。

## 2 本届大会科学结构组织体系

本届大会共分 4 个部门(Division),21 个专业委员会(Commission)和 11 个工作组(Working-group),并设立了 8 个大会专题报告会(Congress Symposium)和 8 个部门专题报告会(Division Symposium)。

### 2.1 部门 1: 土壤时空演变

2.1.1 简介 部门 1 是回答“什么(What)”。土壤被视为一个整体,它是如何形成的?全球覆盖范围多少?与生物圈、水圈、大气圈和岩石圈的诸多复杂关系如何?该部门重点关注土壤圈是什么(即内涵)以及当前人们对土壤圈的认识程度。土壤正作为一种介质和试验材料来进行研究,这正是基于共同兴趣盟约而产生土壤科学家联盟之所在。

土壤时空演变(部门 1)涉及景观背景下的土壤整体性。它可量化土壤发生过程,并决定了土壤的空间多样性,如景观、地貌和地理模式等。包括土壤形态学从微观到宏观水平发展、土壤形态学到土壤发生过程的定量化以及土壤圈知识和生物圈、大气圈、岩石圈及水圈知识的集成。基于形态发生的知识,可发展土壤形成、土壤年代学、土壤形态学和地理分布等模式的多种研究假设。如果没有这些知识的连结,仅仅基于土壤属性很难预测土壤的时空变化。采用 GIS 和其他科学手段,并基于形态发生的偏差,使土壤属

性集分类和多用途解释成为可能。

2.1.2 部门专业委员会 ①土壤形态学和微形态学;②土壤地理学;③土壤发生;④土壤分类;⑤计量土壤学;⑥古土壤学。

2.1.3 活动工作组 2006—2010 WG1.1 世界土壤资源参比基础(WRB)发展;WG1.2 土壤结构多样性体系;WG1.3 数字土壤评价;WG1.4 全球变化中的冷冻土;WG1.5 土壤感应:土壤快速测量。

### 2.2 部门 2: 土壤性质与过程

2.2.1 简介 部门 2 是回答“怎样(How)”,或者对落后于我们学科的基础科学和基本过程的理解。

土壤性质与过程(部门 2)关注运用土壤物理、土壤化学、土壤生物、土壤矿物学和土壤发生学的集成知识,去理解土壤的基本性质以及控制土壤元素或分子转运、循环、形态及生物有效性的过程。并从全球到原子等多尺度研究上述现象。

2.2.2 部门专业委员会 ①土壤物理学;②土壤化学;③土壤生物学;④土壤矿物学;⑤土壤化学、物理及生物界面反应。

### 2.3 部门 3: 土壤利用与管理

2.3.1 简介 部门 3 是回答“为什么(Why)”,对社会来说非常重要。运用我们的基本知识,从社会和科学层面上解决当前优先考虑的社会的、经济的、环境的挑战。并考虑成为科学的应用部分。

土壤利用和管理(部门 3)重点研究我们如何利用土壤?如何联系部门 1 和部门 2 的知识,以保障土壤的可持续利用和管理。尤其关注农业生产、森林、草地和环境保护过程中的土壤利用和管理。其中包括退化土壤的修复、农业土壤的不合理利用以及非农业活动引起的土壤污染等。该部门的目的在于运用我们的知识以及对土壤性质、土壤过程、土壤景观分布的理解,以维持和提高土壤质量。

2.3.2 部门专业委员会 ①土壤评价与土地利用规划;②水土保持;③土壤肥力和植物营养;④土壤工程与技术;⑤土壤退化控制、修复与再利用。

2.3.3 活动工作组 2006—2010 WG3.1 酸性硫酸盐土壤物质过程;WG3.2 森林土壤过程与变化;WG3.3 城市和工业地土壤;WG3.4 全球变化与土壤盐渍化;WG3.5 水稻土与水短缺。

### 2.4 部门 4: 土壤在社会和环境可持续发展中的作用

2.4.1 简介 土壤在社会和环境可持续发展中的作用(部门 4)关注的问题更为广义和宏观,要求我们的知识成果转化成为社会的一部分,尤其是在土壤和土壤科学不断被误解、没有得到充分重视的社会中,

显得尤为必要。该部门将其他3个部门的土壤信息知识普及化，强调其在土壤科学、教育、国际公约、人类活动对土壤生态系统的影响、政策、事物安全、学科发展历史等方面的公民素质。这一部分被认为是一个“顶石”部门，必须集成土壤科学家的科学知识体系、政策制定者以及那些不熟悉土壤科学的专家，但是能使地球表层最为必须的自然资源利用变得更为普及。这是一个科学的整体。

在许多政策相关的主题，尤其是环境和社会的关注方面，需要提供土壤科学知识。在决策制定过程中，该部门提供土壤科学知识，尤其是IUSS特别关注的涉及人类和土壤的社会经济利用的关系方面。

**2.4.2 部门专业委员会** ①土壤与环境；②土壤、事物安全与人体健康；③土壤与土地利用变化；④土壤教育与公共意识；⑤土壤科学的历史、哲学和社会学。

**2.4.3 活动工作组 2006—2010** WG4.1 退化土地的碳固定。

## 2.5 部门专题报告

D1.1 天文土壤学扩展至其他行星；D1.2 土壤信息的时空模拟；D2.1 湿地与全球变化；D2.2 未来的景观管理；D3.1 土地利用的精准技术；D3.2 养分最佳管理措施；D4.1 为什么把土壤看作污垢？D4.2 土壤与人类健康。

## 2.6 大会专题报告

CS1 全球数字土壤制图计划；CS2 土壤生态系统服务；CS3 农业和环境保护中的土壤健康管理政策；CS4 土壤温室气体；CS5 土壤和植物中微量营养元素与作物和人体健康的关系；CS6 澳大利亚的协作土壤科学；CS7 土壤碳固定；CS8 土壤科学的高等教育。

## 3 四大部门土壤科学研究进展

### 3.1 土壤时空演变

部门1分别为6个专业委员会，本届大会共安排12个专题讨论会，即：①土壤形态学与气候变化；②土壤形态学与环境危害；③全球土壤空间信息系统；④土壤地理与生态学；⑤土壤发生：影响速率与范围；⑥地学测年技术与土壤形成；⑦土壤分类与信息需求；⑧土壤分类对土壤学的利弊；⑨土壤变化的定量监测；⑩土壤变化关键过程的模拟；⑪风化沉积物质对土壤发生过程的影响；⑫石灰岩环境下的土壤。该部门还涉及5个工作组，即：WG1.1 世界土壤资源参比基础(WRB)发展；WG1.2 土壤结构多样性体系；WG1.3 数字土壤评价；WG1.4 全球变化中的冷冻土；WG1.5

土壤感应：土壤快速测量。本部门共收录了来自中国、澳大利亚、美国、黎巴嫩、突尼斯、坦桑尼亚、加拿大、阿根廷、墨西哥、意大利、法国、英国、荷兰、比利时、苏格兰等国家的274篇会议论文，其中口头报告80篇。这些论文反映了当前土壤形态、土壤地理、土壤发生、土壤分类、土壤监测与建模等方面最新的研究成果与发展趋势。主要体现在：

(1) 土壤形态部分，一方面反映了土壤形态学与气候变化的关系，介绍了近年来气候变湿背景下欧洲俄罗斯东南部半荒漠化土壤微形态特征变化，以及全球变暖背景下干旱与半干旱生态系统土壤形态的响应。剖析了全新世气候变化背景下阿拉伯南部的成土响应，古土壤成土现状对于区域古气候波动和阿拉伯南部赤道辐合带向南转移的解释有着非常重要意义。分析了意大利中南部撒丁岛K/T边界周围铁质古土壤的主要形态、化学和矿物学特征，说明意大利中南部撒丁岛K/T边界周围铁质古土壤作为土壤地层学指示的可行性。同时也介绍了受阿德雷岛被遗弃企鹅群居地生态系统强烈影响下的土壤剖面化学、形态和物理特征。另一方面反映了土壤形态学与环境灾害发生发展的关系，介绍了意大利暗色土壤与过去几十年间在意大利发生主要的灾难性泥石流之间存在着密切的联系。一种基于化学、水文、矿物学和微断层的综合方法已被用来研究2006年4月发生于意大利伊斯基亚岛山体滑坡土壤，一个非常复杂的内聚合孔隙可能是导致滑坡地层流变行为的一个重要影响因素。分析了宇宙爆炸环境灾害的土壤形态指标，高分辨率的土壤形态研究应有助于进一步阐明宇宙空爆的自然灾害，特别是火成碎片的生火机制，碳质气溶胶和持久的抗金属污染的酸化风险。阐明了波兰东北部年轻冰川地貌地区加速侵蚀对土壤垂直对照纹理的影响。

(2) 土壤地理部分，一方面分析了全球土壤信息系统对预测全球变化的影响，从目前看由于土壤属性分析方法没有统一标准以及土壤性质在全球变化背景影响下时空的差异性，无法为预测全球变化的影响方面提供足够的信息，有待于结合数字土壤制图技术的新数据搜集方法进一步提高信息系统的效率。利用中国土壤数据库优化空间尺度研究土壤有机碳的气候变化响应，发现在不同空间尺度下，两者的相关性以及气温、降雨等气候因子的相对重要性也存在区别，气候因子在解释土壤有机碳含量变化的问题上是有限的。同时，通过突尼斯土壤志提供的土壤剖面描述以及1:500万的数字土壤地图计算，分析了突尼斯土壤有机碳密度及其储量，土壤有机碳在剖面上的储存计

算与土壤类型关联紧密,不同的土壤类型在突尼斯数字土壤地图中以多边形的形式表征。整体而言,突尼斯的有机碳存储在 0~100 cm 的土层深度内,大约有 1.006 Pg C,而在 0~30 cm 的上层土壤中有有机碳存储量是 0.405 Pg C。而在土壤地理数据库方面,介绍了俄罗斯的一种新的数据库管理系统 (Soil-DB),该数据库的核心部分是地理空间数据库和属性数据库,并开发了一套专业软件 (Soil-DB1.0版),该程序允许信息提供者登录到系统指定站点,建立并填充土壤属性的描述卡,并通过互联网发送到该系统的中央服务器上。建立统一的世界土壤数据库已十分必要。近年来,全球范围内最新土壤信息的更新与发布是解决最新土壤数据集成与统一问题的契机。这项工作由相关的机构和组织联合会负责承担,并开发出具有 30 s 时间分辨率的产品,可用于 15 项土壤性质(从表层土-底层土)的单位估算,这些数据与地理信息系统兼容,免费网络共享,并提供了专用浏览软件。另一方面土壤地理与土壤生态学充分交叉,使其研究内容得到了充分拓展。以澳大利亚为例分析了如何利用土壤地理数据库资源更好地理解生态系统功能?通过实地调查观测样点数据库与其他环境数据结合,可在生态学领域的研究中发挥作用。如在昆士兰发现植物的共同进化以及昆虫多样性与澳大利亚北部大陆干旱化所导致的土壤盐渍化程度有很强的相关性。基于土壤 DNA 序列分析了表层土壤地貌与土地利用如何影响澳大利亚东南部地区的土壤微生物生态系统?引入了生物学研究中嵌套分析法,研究过去 20 年南京市的快速城市化进程引起的土壤组织结构和土壤多样性特征(嵌套模式)的时空变化。分析了拉斯维加斯植被稀疏地区土壤景观与土壤特性,发现地貌面(例如断裂沉积、盆地表面)和土壤专题图单元与土壤化学指标相比,是植被潜在栖息地评价的更优指标,可在生态环境的支持保护、修复以及城市规划中应用。

(3) 土壤发生部分,一方面深入分析并验证了土壤生物对土壤形成的作用,尤其是生物扰动和成土过程中蚂蚁发挥的作用。描述了土壤形成中 4 种不同的能量形式,包括重力、造山运动能、太阳能和人类能源,了解和衡量在不同物理和地理环境下土壤的形成。描述了生物气候形成、岩石生成、火山生成、古代水生成和其他土表的宏观构造,阐明了成土过程中影响因素的速率与程度。利用全球土壤数据库发掘了气候、地质、土壤性质和范围以及土壤类型间存在的众多定量关系,以揭示土壤分布规律。研究了近 1 000 年以来水稻耕种条件下钙质海洋沉积水稻土的演化历史,

表明不同土壤成分和特征的变化过程和速度因水稻栽培条件下不同而截然不同。另一方面在土壤形成时间序列与过程速率方面,利用释光定年技术和放射性<sup>137</sup>Cs 计年法研究并制定了奥地利维也纳附近的多瑙河中沿着土壤序列的河流沉积的年限框架,辨别出从公元前 1 000 年到公元 18 世纪以来不同时代的河流沉积,填补了公元 18 世纪到目前的空白。结合微观形态与释光测年技术使我们能够区分成土沉积物的积累过程和阶段,研究了土壤地貌对晚冰期/全新世气候波动和人类影响的响应。利用宇宙成因核素来追溯出澳大利亚新南威尔士州东北部国家公园土壤生产速率(以千年每毫米计),还利用光释光技术来测量土壤垂直混合比率,并评估相对水平的土层年代。同时,利用铀系核素调查风化过程,来测定土壤生成速度,以及风化岩剖面含有的矿物或结核土的年限。

(4) 土壤分类部分,强调新政策的制定对不同尺度土壤信息解译的需求逐渐增大,如气候变化、生物多样性保护、土壤荒漠化等均涉及土壤问题,新的数字土壤制图技术可以发展一种全新的全球高分辨率土壤数据库,为未来全球土壤保护战略和政策制定打下基础。分析和展望了现在和将来的土壤数字分类技术,并以坦桑尼亚为例研究了数字土壤制图中土壤特征的选择和运用,为土壤信息更新升级提供足够的空间。土壤分类的下一步工作可概括为世界上通用两种土壤分类系统、美国土壤分类法(ST)和土壤资源国际参考基准(WRB)。在国际土壤科学联合会领导下应建立通用土壤分类体系。同时,以西班牙加泰罗尼亚葡萄园为例分析了土壤形成过程在农业生产系统中所起的决定性作用,并建立表层土壤特性的新框架,应用新的 A 层分类系统命名选定的加拿大区域的土壤样品。

(5) 土壤监测与建模方面,建立了欧洲土壤监测框架体系,介绍了基于设计基础与模型基础两种土壤监测样点布局方法。苏格兰正利用全国尺度土壤监测计划去评估不同土壤采样方法监测北温带针叶林气候下土壤资源变化。指出了比利时南部森林土壤监测及制图的一些问题。同时十分重视土壤变化的关键过程模拟研究,利用地统计学方法以及国家区域间的协调方法,澳大利亚实现利用约 200 个点位,采用铯<sup>137</sup>(<sup>137</sup>Cs)示踪技术,成功绘制了每 5 km<sup>2</sup>为单元的土壤再分配图。研究了 HYDRUS 模型在预测东京季风气候区的耕地渗流区土壤湿度和温度的实用性。用 DEM 和地形分析预测了土壤有机碳的空间格局。构造了一个多模型,使用以 14 独立 Richards 方程为基础

的独立模型，采用不同土壤传递函数，为更好地了解和预测土壤过程提供了一个工具。而且土壤过程模型实现了量化参数和结构误差。

关于 WRB 的报告主要关注了两个方面的内容，其一为国家土壤分类系统和数据库与 WRB 的参比关系，这是各国普遍存在的问题，也是建立全球土壤标准数据库所必须解决的问题。技术上的关键在于如何从国家土壤数据库中提取和模拟 WRB 鉴定所需的诊断层次和诊断特性。其二是 WRB 本身的分类标准修订建议，如对水耕特性定义以及薄层土分类修改的建议。土壤结构分异从来都是一个热点议题。其从微观结构模式到景观尺度变异的耦合研究是一个不足，也是一个难点。技术的进步将显著推动该领域研究，两个报告分别介绍了测定土壤团聚体结构的纳米级离子质谱分析方法、利用三维的 CT 切片结合二维的切片光谱法土壤属性测定，实现了三维空间土壤变异表达。土壤结构对稻田犁底层导水系数的影响这一传统研究依然在进行。数字土壤制图专题，从技术方法到结果并没有看到喜人的进步。关于数字土壤制图产品的精度评价是普遍关注的内容之一，部分研究者强调了实际验证的重要性，也有报告陈述了对模型制图不确定性和精度的量化方法，这是数字土壤制图的根本特征之一，但仍需深入发展。有一个报告探索了三维土壤制图，这是将来的发展方向之一。关于寒冻土壤的研究报告与全球变暖的巨大危险相比，似乎并不多仅 5 篇。主要关注点在于环境条件变化对冻土区碳、氮循环或者排放规律的影响。显而易见的结论是温度主控下，冻土消融会增加碳的排放并进一步加剧气候变化的危险。也有研究关注了冻土消融对水分入渗的影响。青藏高原和南极地区是冻土研究的热点区域。电磁传感器、伽玛光谱仪、近红外、红外光谱仪等多种传感器被应用到土壤的快速测定上，包括野外手持机和实验室光谱仪，而且都在一定范围内显示了较好的结果。这将逐步替代传统实验室分析，以服务于一般性应用目的的土壤数据获取。如何与高空遥感相结合依然是个问题。

### 3.2 土壤性质和过程

部门 2 分别为 5 个专业委员会，本届大会共安排 10 个专题讨论会，即：①运用土壤物理学优化水分利用；②土壤孔隙结构动态的物理学；③土壤中生物地球化学界面；④土壤有机质的动态变化；⑤土壤-根界面；⑥土壤中基因表达和蛋白组学；⑦土壤矿物及其可持续性；⑧土壤矿物与污染物；⑨土壤中胞外蛋白与核酸；⑩金属和有机物的生物有效性。本部门

共收录了来自德国、美国、日本、新西兰、中国、澳大利亚、意大利、法国、西班牙、印度、瑞士、英国、加拿大、韩国、俄罗斯等国家的 370 篇会议论文，其中口头报告 58 篇。这些论文反映了当前土壤物理、土壤化学、土壤生物、土壤矿物以及土壤化学、物理及生物界面反应等方面最新的研究成果与发展趋势。主要体现在：

(1) 土壤物理部分一方面反映了运用土壤物理学优化水分利用进展，介绍了一种基于作物对灌溉响应的数值模型和天气预报结果来确定灌溉深度的方法。研究表明含盐浅层地下水条件下滴灌是一种可持续的措施。植物高蒸腾效率是优化水分利用的一种方式，且发现用根来鉴别不同品系的蒸腾效率差异。另一方面在土壤孔隙结构动态的物理学方法及应用方面取得明显的进展。利用非破坏性技术如 X 射线显微断层扫描技术可揭示不同尺度下土壤结构及其孔隙体系结构动态变化。利用同步加速器和 X 射线微聚焦管显微断层扫描系统研究土壤团聚体和典型核心体积土壤样品的土壤结构动态变化。运用 3D 图像分析工具解析孔隙结构的三维重建，分别量化土壤结构形态学特征以及相应的孔隙网络随着边界条件的变化，并进一步发展土壤传输和变形过程的模型方法，以及改进土壤结构动态变化耦合传输功能的物理测量分析方法（如 CT 扫描和三维图像）。提出了土壤结构动态变化作为水应力和机械应力的一个函数，运用数值方法来描述受耕作机械应力影响的  $e^{-\sigma}$  的相关关系，并模拟负载土壤的收缩行为。探讨了根系诱导变化对土壤水力特性参数的影响及过程信息，描述了通过根系改变土壤水力特性参数的主要机制是孔隙几何形状的改变所致，并建立了预测根系对土壤水分特征参数影响的模型。利用 3D 网络模型研究土壤结构对土壤团聚体稳定性的影响，发现有机碳对土壤团聚体稳定性具有核心作用，部分原因在于降低土壤团聚体的内在渗透性以及土壤润湿性，揭示其土壤结构稳定性的物化及物理学机制。同时，分析了常规管理方式对土壤大孔隙结构和功能的长期影响。

(2) 土壤化学部分一方面反映了土壤有机碳氮转化过程及其影响机制仍然是目前的研究重点和热点。评价了土壤干湿交替的频率和强度的长期效应，土壤颗粒有机碳受到干湿交替强度的影响，探讨了土壤中外加有机碳矿化与固定过程的生物物理控制。指出细胞壁网络可解释作物残体分解和土壤有机质的动态变化，细胞壁结构（纳米级）在保护土壤有机质方面起主要的作用，为植物残体质量认识提供了新视野。研

究了农业残余物调控土壤pH变化的化学机制,并提出了为了预测土壤化学性质如pH的变化,应加大对不同土壤环境中残留物的化学行为和相互作用研究。分析了不同利用方式下淋溶土中植物残体的分解速率,即林地土壤>草地土壤>耕地土壤。研究发现多酚含量丰富的生物材料能够减缓土壤中已固定氮素的矿化。探讨了土壤胡敏酸与富里酸的热力学稳定性,表明较高的含水量、相对低的温度和氧气浓度及高的二氧化碳浓度通常导致富里酸的形成。同时,在土壤污染化学及有效性方面也取得明显的进展。运用了同步辐射X射线荧光成像方法、扩展X射线吸收精细结构光谱及微区X射线衍射技术分析了蛇岩纹发育土壤中镍与铁和锰的共定位,以及主要形态镍EXAFS光谱包含铁锰矿物和层状双氢氧化物矿物相。利用元素比和同位素比识别土壤矿质营养的岩成源和生物源,如大量-微量元素比例Sr/Ca、Rb/K和Ge/Si及同位素比例 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{44}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ 和 $^{24}\text{Mg}/^{22}\text{Mg}$ 的作用,结果发现季节性植物生长模式与地中海气候有关,沿着强烈的土壤渗透性变化梯度,通过选择性提取和被动废弃物降解的植物体,逐渐形成了明显的周期性元素和同位素循环。研究了土壤中化学作用对砷迁移的影响,表明土壤中铁氧化物和氢氧化矿物的存在对砷的迁移有主要的影响,施用磷肥可提高土壤中砷的迁移性和生物有效性,因而这一结果对于当前这种土地利用方式具有重要的意义。分析了利用体外测试技术预测通过误食土壤摄入途径砷、钙、铅的相对生物有效性的可行性。运用陆地生物配体模型评价了土壤中金属积累的安全浓度并对生物没有负面效应,而最近研究重点放在土壤偏提取领域以及模拟污染物的生物有效性或生物可给性的提取体系。综合分析了胞外酶和有待降解的大分子物质的复杂性和多样性,以及胞外酶一旦离开细胞质后的许多位点和归趋。今后的研究将重点描述克服胞外酶在土壤中破坏或活性抑制所采用的方式,以及有关底物有效检测和利用的微生物适应策略。同时,在考虑土壤结构的作用和界面的物理化学性质的有效模型的基础上,建立了一个多区域吸附模型,并应用于预测局域和单个土体水平下多环芳烃的吸附和阻滞行为。

(3) 土壤生物部分在土壤基因表达和蛋白组学研究方面取得了很大的进步,发展了国际DNA序列数据库中土壤元数据标准。成立了土壤基因组专业委员会,有助于开展土壤宏基因组方面的合作研究,该计划形成了一套理解土壤生物学和解释序列数据的土壤特征。研究通过土壤mRNA和蛋白质分子的提取和描述

来监测基因表达,基于大的基因插入片段(包括操纵子和启动子)克隆的功能宏基因组学可筛查特异功能和新的生物产物。通过分析蛋白作为生物传感器、胞外酶活力、胁迫蛋白和代谢蛋白,以及分析参与群体感应和基因交换活性、或定义竞争、捕食、共生的蛋白质或肽段,土壤蛋白组学为研究细胞-环境过程以及同源和非同源细胞间相互作用提供有用的信息。运用基质辅助激光解析电离-飞行时间质谱技术分析了小麦非生物胁迫响应蛋白质的系统分类,阐明胁迫耐受性植物体基因表达蛋白质的功能,不仅提高我们对植物环境胁迫的适应性和耐受性认识,而且还可为设计作物改良新策略提供重要信息。在土壤微生物生态方面,研究了缺氧土壤微域中葡萄糖对反硝化菌丰富度、反硝化基因mRNA水平和反硝化活性的影响,发现添加葡萄糖导致的 $\text{N}_2\text{O}$ 排放量的增加并没有明显伴随着目标细菌群落的反硝化基因mRNA水平的显著变化。病毒作为最重要的基因组保存者,在水体环境初级生产和微生物食物链中具有重要的生态功能。估算了水稻田水体中的病毒丰富度,同时为了评价噬菌体侵染对微生物食物链中细菌宿主的重要性,测定了噬菌体侵染细菌细胞。水稻田中多数T4噬菌体g23序列的死亡率常与海洋起源序列有关,具有更显著的多样性特征。在土壤生物化学方面,研究了磷酸酯酶水解作用对土壤有机磷化合物的特性化,无机焦磷酸酶对焦磷酸具有专一性催化作用。而其他酶则均可以彻底水解结构简单的单脂和凝聚态磷,差异仅表现在对肌醇六磷酸、DNA和RNA的水解能力上。分析了水稻秸秆施用对中国水稻土水解酶活性的影响,水稻秸秆分解导致的水解酶活性,纤维素诱导活性和木聚糖诱导活性显示出了明显的差异。研究了旱田土壤的酶活性及其适应性,指出微生物的干旱生存生理、干旱土壤中水膜的不连续和有限的基质扩散和生物运动协同作用是一种适应机制。同时,研究了杀虫毒素Bt (*Bacillus thuringiensis*) Cry1Aa在土壤中的迁移性和持久性。

(4) 土壤矿物部分一方面反映在土壤矿物及其可持续性上的进展,研究了无定型铝和无定型铁氧化物参与这些途径的非生物催化作用,对于理解金属氧化物在非生物腐殖化过程和土壤和沉积物中碳固定有着重要作用。分析了黏土矿物对新近淋溶土和始成土黏粒组分中有机质稳定性的影响,发现始成土中无定型高岭土具有大的比表面积,增大了有机质的吸附,而新近淋溶土中蒙脱石也是如此,并且除了吸附作用以外,微团聚体有机质固定导致了 $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ 颗粒中有机碳含量较大。近年来,开始关注土壤微域尺度下碳



周转动态变化的一种三维功能观点。提出了矿物与碳稳定性即对土壤中矿物结合态碳相互作用的一个新观点。X射线衍射分析发现，真菌与根的共生体系通过从黑云母中选择性和有效提取钾离子，比根系单独作用对土壤黏粒产生更有效。研究了山地苔原（俄罗斯极地乌拉尔）生物气候条件下超基性岩发育土壤的形成的矿物学基础，发现土层黏土矿物组成是由超基性岩，甚至超基性岩和基性岩混合物决定的，当后者占优势时，苔藓和地衣的酸效应似乎是最不稳定矿物选择性分解的一个原因。另一方面体现在土壤矿物与污染控制方面，研究了水热蚀变地区岩石和土壤中有毒金属的淋溶行为，并且评价了共存矿物和可溶性元素对有毒元素的淋溶和迁移行为的影响，发现有重金属淋溶和迁移行为强烈地依赖于胶体物质，尤其是铁氧化物和 Al/Fe-腐殖质复合体，这些胶体阻止了有毒元素的淋溶，同时有毒元素也会吸附在胶体上并向下游运输，特别是砷的运输在研究区清楚地观察到。运用电化学方法研究了亚铁配合物在异质二氧化硅悬浮液和均质亚铁溶液中对二硝基苯酚的还原转化作用，表明二硝基苯酚的还原率很容易受到 pH 和亚铁浓度的影响，确定了亚铁复合体的氧化势 ( $E_p$ ) 很大程度上受到吸附态亚铁物质种类的影响，而二硝基苯酚还原转化率的提高是与三价铁和亚铁组合的氧化还原势的负变化有关。同时，通过宏观整合批次吸附实验、光谱分析及计算方法，探讨了二噁英和膨胀性黏土矿物的相互作用，黏土矿物吸附态二苯并二噁英和一氯二苯并二噁英的红外光谱和拉曼光谱揭示了吸附物种的定位信息，而对于皂石吸附态二苯并二噁英，其光谱信息反应了被吸附的二苯并二噁英与层间阳离子的相互作用。

(5) 土壤多界面部分主要反映在土壤中生物地球化学界面研究上，分析了有关生物分子-铁氧化物之间相互作用的最新研究，尤其强调对于胞外聚合物 (EPS)、细菌体 (铜绿假单胞菌，枯草芽孢杆菌) 的附着研究，并讨论了生物分子官能团的直接、内轨配位的证据，及其与宏观尺度转运现象的联系。已经运用衰减全反射傅里叶变换红外光谱 (ATR-FTIR) 技术识别了许多有趣系统中调控表面生物分子和矿物表面官能团之间相互作用的分子类型和键的本质。不同阳离子饱和度对土壤中疏水性有机化合物壬基苯酚和菲吸附及矿化作用的影响，发现壬基苯酚的矿化是底物限制且很可能是共代谢过程。在高矿化率条件下，Ca-和 Al-处理土壤中壬基苯酚的生物有效性则受到抑制。借助量子化学计算和实验数据描述了异化铁还原细菌

终端电子传递中调节分子的结构和功能，认为是在分子水平上描述微生物铁还原调节分子作用以及电子供体 (外膜细胞色素) 调节分子与微生物铁还原终端电子传递的电子受体 (铁氧化物) 的相互作用。研究了土壤中受矿物和有机组分控制的生物地球化学界面的形成，指出土壤界面的形成受存在的颗粒表面及有机质和矿物颗粒集合体控制。土壤氧化还原界面是一种重要的化学反应场所，探讨了水稻不同生长时期根表面水稻根部铁膜和蓝铁矿的形成及其影响因子。从基因到模型——将微生物和微生境功能联系起来，选择 2-甲-4-氯苯氧基乙酸作为模式有机底物，利用玉米废弃物创造了一个良好明确的土壤-废弃物界面，研究了在可溶性有机物质有效性降低的梯度条件下微生物降解、降解菌丰度、2-甲-4-氯苯氧基乙酸的吸附、解吸及其转运过程，发现编码土壤微生物群落的特殊功能基因的定量化有助于阐明生物地球化学界面上复杂有机物的降解规律。在土壤-根界面研究方面，运用三室根箱试验研究了根际和枯枝落叶层界面微生物群落结构和酶活性，发现在根际和枯枝落叶层界面上， $\beta$ -葡萄糖苷酶、木糖苷酶和磷酸酶的活性及细菌和真菌磷脂脂肪酸丰度高于添加根和残余物分室起初的 1 ~ 2 mm 处，残余物分室附近生物活性普遍较高。分析了边缘区不同植物根际土壤的酶活性。借助了几种分子技术 (从经典克隆和测序技术到高通量 454 测序) 研究了森林和草地生态系统土壤真菌多样性。同时，在洛桑试验站的高地草地可耕种试验中比较分析了土壤有机碳、微生物和节肢动物群落特征，探讨了随着植物资源减少生物数量降低是否与其多样性的减少存在相关性，发现不管碳的特殊组分如何，微生物生物量与土壤有机碳成正相关，但群落的多样性并未受到这些参数的影响。反之，土壤节肢动物的丰富度和多样性却受到近期种植植物的强烈影响。在土水界面动态的控制机理方面，由于土壤-水界面特征并非静止而是不断变化的，因而其相关过程和机制对生境、过滤、缓冲存储和转换功能有着很大的影响。研究表明土壤颗粒表面固定层的表面特性取决于土壤溶液中两性分子的数量和大小、pH 和离子强度。未来研究的一个主要挑战是方法的不断完善，从而可以证实模式底物及复杂天然土壤样品的可能机制，以及有关不同土壤类型、气候和土地利用方式下土壤可能机制的相互间联系。

### 3.3 土壤利用和管理

部门 3 分别为 5 个专业委员会，本届大会共安排 8 个专题讨论会，即：①农业系统和环境影响；②高

地农业和土壤、水的保护；③利用测渗计改进水土管理；④养分资源综合管理；⑤分子生物学和最佳作物营养；⑥建设工地地表径流管理；⑦土壤重金属污染；⑧风险评估和基于风险的修复。本部门共收录了来自德国、澳大利亚、巴西、印度尼西亚、新西兰、中国、意大利、法国、瑞典、肯尼亚、匈牙利、日本、美国、尼日利亚、比利时、加拿大、印度、智利等国家的 384 篇会议论文，其中口头报告 72 篇。该部门还涉及 5 个工作组，即 WG3.1 酸性硫酸盐土壤物质过程；WG3.2 森林土壤过程与变化；WG3.3 城市和工业地土壤；WG3.4 全球变化与土壤盐渍化；WG3.5 水稻土与水短缺。这些论文反映了当前土壤评价与利用规划、水土保持、土壤肥力与植物营养、土壤工程与技术、以及土壤退化控制、修复与再利用等方面最新的研究成果与发展趋势。主要表现在：

(1) 土壤评价与利用规划部分一方面结合农村和城市土壤的功能、属性、土地需求等介绍了全球及地区尺度的土壤评价方法，另一方面结合奶牛养殖与烟草种植、我国西北沙漠绿洲和巴西热带地区的农业活动介绍了不同农作体系对水土环境污染和土壤碳储量的影响。

(2) 水土保持部分依旧关注高地农业的土壤侵蚀问题，结合案例分析了土壤侵蚀因子，介绍了土壤侵蚀的<sup>137</sup>Cs评价方法，提出在区域水土保持中构建生物学和地理学信息数据库的必要性。测渗计由于在水土管理中独特的应用价值，依然被关注。因此，不仅介绍了它们在森林土壤水文研究、硝酸盐运移研究、矿区废水污染监测中的运用，还结合土壤非均一性研究和土柱构建提出了对测渗计的改进和优化设计。

(3) 土壤肥力与植物营养部分介绍了综合养分管理、平衡施肥技术以及缓释肥、纳米肥料、回收甘油副产品等在提高土壤养分利用率、减少养分损失方面的作用，提出要建设可持续的农业耕作系统。同时，结合现代分子生态学介绍了不同基因型烟草和根际环境条件下土壤钾吸收以及转基因植物养分输送的优化研究，通过探讨红壤地区水稻耐铝与铵态氮关系以及氮肥与辐射条件下精油产量与品质关系研究了作物生长的土水环境条件。

(4) 土壤工程与技术部分介绍了建筑工地地表径流管理的传统及先进技术与方法，包括：RUSLE2 二维模型在模拟工地径流与侵蚀方面的运用，土壤物质通过河道的长距离运移研究，废水处理中全氟化合物的吸附剂与土壤有机无机改良剂的研发等。

(5) 土壤退化控制、修复与再利用部分介绍了土

壤重金属污染、风险评估及基于风险的修复。结合韩国和美国 3 个州矿区的案例介绍了矿区周边农田土壤的重金属污染及其长期变化趋势，同时也关注磷肥施用后土壤镉污染问题；土壤重金属的污染化学方面则重点关注了铅、锌元素的迁移性和生物有效性；在污染物的风险评估方面介绍了污染物的“老化”效应在风险评估中的运用，基于污染物运移与归趋的暴露评估；在污染控制与修复方面介绍了重金属的化学淋洗、堆肥处理、零价铁修复和植物修复技术的研究与应用，以及石油污染土壤的监测式自然衰减修复。

有关酸性硫酸盐土方面，指出全球变化会影响到酸性硫酸盐土生态系统，这一本身脆弱的系统受到海平面变化影响。也有发展中国家关注酸性硫酸盐土的大面积改良，其中越南发展了利用潮汐水位差采取排水方式进行改良。另外，对于酸性硫酸盐土中硫的氧化还原过程研究发现随着淹水年限的增加，硫化铁含量显著增加。森林土壤专题中，孢粉、木质酚类和角质/木栓来源脂肪单体等被用来作为历史环境和森林群落类型的鉴定。部分研究陈述了不同管理方式下林地土壤有机碳的质量和变化、矿区土壤还林的适宜性等内容。关于城市和工业区土壤的研究一如其本身一样，涵盖多样化。有 4 篇文章分别涉及城市土壤调查和制图方法及其在城市规划上的应用，全球化背景下“人类层”概念的提出以及城市土壤的趋同化概念，局部城市重金属污染的空间分异及其来源研究，工业废渣的土壤发生过程等等。土壤盐渍化不再限于局部问题，已经纳入全球变化背景下，来自孟加拉国的声音表明，全球变暖引起的对海平面上升导致了该国土壤退化、陆地面积减少和作物产量的降低，这也意味着将来关于全球变暖责任和义务的谈判将更加激烈。更多的研究还是关注盐渍化本身，如基质盐度对植物生长的胁迫效应、不同水源和农业措施对滨海盐碱地土壤盐度和棉花灌溉的影响、灌溉水的盐碱度和 pH 值对入渗率季节性变化影响等。来自干旱区的研究报告表明，土壤盐分组成和含量主要受控于地质大背景，气候变化会影响到盐分在土体中的分布。关于水稻土的研究内容，明显受到了全球变化的影响。来自中国的研究发现，其亚热带地区水稻田是良好的固碳种植模式。其他论文就节水条件下的水分利用率、土地生产力以及土壤环境效应进行了研究。

### 3.4 土壤在社会和环境可持续发展中的作用

部门 4 分别为 5 个专业委员会，本届大会共安排 9 个专题讨论会，即：①土壤自然资本的评价；②现有环境管理与保护；③土壤、能源与食物安全；④土



壤和水—全球变化；⑤土地利用变化对不可持续生态系统的影响；⑥土壤信息对非农业用户的发布；⑦吸引年轻人从事土壤职业；⑧土壤科学：历史、哲学和社会学；⑨土壤与人类文化。本部门共收录了来自新西兰、英国、美国、印度、荷兰、澳大利亚、加拿大、日本、法国、德国、中国等国家的178篇会议论文，其中口头报告55篇。该部门还涉及1个工作组，即WG4.1退化土地的碳固定。这些论文反映了当前土壤自然资本与环境，土壤、事物安全与人体健康、土壤与土地利用变化、土壤教育与公共意识、土壤科学的历史、哲学和社会学等方面最新的研究成果与发展趋势。

(1) 土壤自然资本评价、土地利用与环境保护方面：构建土壤自然资本及其生态系统服务功能的评价方法，以及运用这些评价方法相关政策的制定与可持续土地利用的实施；不同土地利用方式下的可持续土地管理措施；集约化发展模式如何影响环境中水资源数量和质量；生态可行的土地管理措施的影响评估。如通过改善土壤自然资本评估方法，显示了土壤自然价值评估中土壤调查的价值和其对投资快速回报的能力。在新西兰奶牛饲养场通过一种新的方法（土壤调查方法、氮素淋失措施以及新缓释技术的组合）来减少其氮素淋失，每年的氮素淋失比使用原来的调查方法估计的量大约增加25%，表明这种方法在农场和普通社区都非常有效。制定土壤资源的使用和管理计划过程中做出更多均衡性的决策，需要充分考虑来自于土壤的所有生态系统产物和服务的价值，通过管理土壤碳素是提高生态系统服务功能传送能力的一种方法。建立一种新的用来评价土壤自然价值库存充盈率方法，即一个库存充盈指标被定义用来鉴定是否该土壤服务功能已经受限于土壤自然价值库存，或者还有库存盈余，从库存质量-数量曲线可以确定阈值，曲线可以通过土地评估、土壤质量文献或建模的方式确定。通过土壤有机碳剖面分布，在有机碳层化率和各种生态系统服务之间能建立一个有力的关系函数，以便确定其相关联的生态系统服务数据。土壤和土地利用变化方面，研究土地利用变化对土壤功能（如土壤的生物、化学和物理性质和过程）产生的影响。加拿大使用已有的土壤侵蚀模型和国家数据库开发了一套土壤侵蚀指标系统，评估了耕作、水和风力侵蚀综合效应在加拿大农业用地中的土壤侵蚀风险，表明自从上世纪80年代开始随着时间的变化，加拿大农田土壤侵蚀的风险逐步在减少，这可能要极大归功于保护性耕作方式的采用，特别是免耕体系的采用。土地利用变化

影响土壤的养分。热带大部分土地利用变化关注的是森林采伐、农田扩张、旱地退化、城市化、牧场扩张以及农业膨胀，20世纪期间农田扩张了50%，从1900年的大约12亿 $\text{hm}^2$ 到1990年的18亿 $\text{hm}^2$ ，而且该地区土壤养分受土地利用方式的快速变化的影响。同时，研究发现14年的耕作措施或者对5年的牧草地进行耕犁，这些主要的土壤扰动导致了土壤有机质储量、氮通量和微生物活性的快速变化。

在流域环境管理与保护方面，研究了爱尔兰农业流域尺度的土壤管理和河流水质，对比分析流域中水的化学和代表性的土壤水文属性空间变异，来获悉流域氮和磷的转移行为。通过实验室、温室和多年大田实践了印度西南部亚热带州府中养分综合管理通过使用推荐的肥料提高了作物潜在的产量，改善了作物氮素需求的同步性以减少环境污染的综合养分管理。尿斑是牧场氮淋失的主要来源，采用了APSIM模型框架中最新开发的牧场模块模拟土壤氮素流失大小。在美国，农业土地从径流中养分流失是地表水质贫瘠的主要原因。美国国家土壤调查中心的科学家们开发了一套评估农业型流域天然水资源影响的技术，评价了农业型流域土壤调查径流中磷素流失。

(2) 土壤、能源与食品安全方面：研究了人口、粮食和其他物质资料、再生能源发展趋势对土壤资源的需求，以及探讨保持甚至提高现有土壤资源情况下土壤学研究所面临的主要问题；研究全球气候变化对土地利用方式的驱动作用；改变土壤和土地管理以适应一些气候带上的气候变化，预测全球气候变化对粮食、纤维产量和区域环境的影响。生物质能需求快速增长带动了甘蔗种植面积的不断扩大，商业化甘蔗种植对土壤化学、物理和生物学性质的影响，出现了土壤有机碳含量减少、土壤酸化、土壤结构性变差、肥料农药等淋失加剧、其地表水呈现富营养化，这些都需要科学的作物种植管理和精细的耕作方法以便能持续地为产量提供保证。磷是食物生产中一个关键的元素，但也是一个不可再生资源。最近的研究估计全球磷肥的产量将在2033年达到顶峰，在21世纪末下降到顶峰时期的三分之一。人口和收入的增加将促进食物需求的提高，特别是动物蛋白的需求，其结果将加速磷素的可获得性减少的趋势，并且导致肥料价格上升，因而可通过改善磷肥制造和施用的效率以及磷肥在液态和固态废弃物中的循环来解决。基于空间分布的机理型水-氮-作物管理模型，模拟了中国北方平原小麦-玉米种植体系水、碳、氮循环以及作物生长和农业管理实践，每年可减少20%~23%的氮肥施用量，

并且在产量没有显著波动的情况下每公顷节约 10~45 澳元水费, 该研究潜在的净利润估计有 2.16 亿澳元。

(3) 土壤教育和公众意识: 强调把土壤科学信息传递给非农业用户发布的必要性; 吸引人们(特别是年轻人)从事土壤相关的职业, 阐述当前土壤学教育中的存在危机, 建立良好的传授机制创新土壤学教育。广泛使用的 Google Earth 程序开发了一个教育资源项目, 完成对全球土壤资源空间浏览。如何与利益相关方和决策者建立起创造性互动方式, 为改善土壤科学在社会和公众意识中的影响, 成为土壤科学研究的挑战。根据学生野外实地的需要设计了考古学中土壤分析支持系统(SASSA), 是一个基于网络和知识的决策支持系统, 它不仅可以在办公室作为参考和培训工具使用, 同时在野外, 使用一个笔记本电脑或者智能手机, 也可以在实地对土壤进行描述、采样和解释, 为别的土壤教育开发提供了一个框架。采用 3 维可视化方式来开发一个互动式的“虚拟土壤剖面”, 有助于理解土壤复杂的维数和属性以及土壤结构、生物和重要的土壤过程, 还融入了互动影像、动画片以及链接了相应的辅助信息。可以让土壤科学变得更加具有娱乐性从而促进年轻人增加对土壤学科的兴趣, 吸引年轻人从事土壤职业。如苏格兰设计了一些全新的方法, 这些方法增加了人们尤其是年轻人对土壤的认识。这些方法中一个基本的主题就是通过大量的不同的交流方法给人们描述和对比人类与土壤之间的相关联系。使用数字化手段让学生对土壤科学产生兴趣, 如 Purdue 大学的土壤科学课程已成了该校农学院主要吸引学生的课程, 并且激发了许多学生选择土壤科学作为他们的职业。土壤科学的学生毕业后的就业率将近 95%。许多新的教育方法例如学生响应机制和交互式视频教育使得教师让更多的学生参与到土壤科学课程的学习中来, 改善了学习成绩并加强了学生们对土壤科学的兴趣。美国农业部通过 NRI/AFRI 项目促进土壤科学相关子学科与气候变化课程的组合, 优先把土壤课程的相关性融合进气候变化里, 并且展示了一些影响将来土壤科学研究和教育的一些主要问题和不确定性。如在欧洲土壤联合网络的号召下, 为土壤认知和教育创造一个全景的欧洲解决方案, 延伸到了教育部门、政策制定部门以及各利益相关群体, 希望和他们分享最好的成果、促进他们对土壤科学的认知, 从而提升欧洲人对土壤科学的知识水平。通过以一个新的环境科学课程设置来改变传统本科土壤学科教育, 以期达到增加土壤学科入学率的目的。中国土壤科学教育在中国高等教育里得到了快速的发展, 目前

在土壤科学领域一个完整的学位课程已经成型, 大专、大学、研究所这一系列的教育机构为学生获取学士学位、硕士学位以及博士学位提供了所有相关课程设置, 包括研究型和应用型人才培养机制。这个土壤教育体系充分满足了中国国家经济和社会发展对土壤科学家和专业人员的需求。

(4) 土壤科学的历史、哲学和社会学以及人类文化: 从历史的角度分析土壤科学中生物研究的重要性, 探讨根际、土壤动物、土壤微生物、施肥等在不同农业土壤和环境土壤功能中发挥的作用; 远古、本土、现代社会人类对土壤的认知, 包括实践与宗教、道德信仰; 用艺术、文学和流行文化手法描绘土壤; 人类生活要素与土壤的关系; 人们在感知土壤和阐述土壤学理论中无意识的作用。如植物对水和养分的获取和有效利用以及土壤与植物根系的相互作用一直是活性研究的主题, 有着鲜明的发展历史。根据蚯蚓和白蚁在土壤机能中的作用来阐述科学知识的发展历程。探讨了人类古土壤之一的亚马逊河流域黑土在过去是如何形成的, 土地施肥管理以及它对亚马逊河区巴西城市黑土形成的贡献, 认为亚马逊河流域黑土可能是通过冷却、缓慢燃烧的方法形成的, 并且通过该处理过程可以帮助改善亚马逊河流域贫瘠土壤。从 19 世纪后期开始, 土壤美学一直让许多土壤科学家着迷, 让他们看得越多, 理解得越深。土壤拥有遗传特性并且能根据土壤的“文化价值”分类, 意大利研究创建了一张地图和一个存储了 726 个土壤文化景观信息的地理数据库。土壤影像看作是一个具备文化价值的、美学价值的和生态价值的无价公众商品, 利用艺术在土壤保护和普通大众之间构架交流的桥梁。在西方艺术通过油画、喜剧和漫画展示有关土壤起源发生史和土壤的多种作用。同时, 土壤科学方法也应用在法庭埋葬学研究中。

(5) 退化土地上的碳固定: 研究土壤固碳在提高退化土地的生产力和减缓气候变化方面的多重重要性, 并且基于现有的技术和法律框架提出可能的发展策略。国际生物碳行动的实施, 认识到“生物碳或黑色碳”在固碳、减少温室气体排放和提高土壤肥力方面的潜在作用, 同时考虑了生物碳对环境积累、分散和杀虫剂的食物安全的可能影响。建立了美国德州变性土的有机碳储量模型, 表明近代的传统方式在以 C 0.15 mg/(hm<sup>2</sup>·a) 的速度提高土壤有机碳固定。而且发现退化耕地造林可以固定大气中的碳, 树木而来的碳对林下有机碳积累有近一半的贡献。研究表明, 退化的半干旱草原停止放牧后土壤有机物质的稳定性, 在

退化的半干旱草原停止放牧对于大气碳的快速固定和减缓气候变化有很大的潜力。

## 4 国际土壤科学发展特点与态势

国际土壤科学自身得到了进一步的发展，同时充分反映了国际上共同关注的重要土壤科学问题。近10多年来，国际土壤科学发展的特点与趋势如下。

### 4.1 当前土壤科学发展的四大领域成为国际土壤学研究的新导向

**4.1.1 土壤时空演变领域研究** ①土壤的微形态研究越来越受重视，并应用于环境灾害、土地利用、环境演变等方面，以图解决一些实际问题。如其中两篇论文从土壤形态的视角研究了意大利灾害性的滑坡和泥石流的发生过程，对我国的地质灾害研究有启示意义。②土壤发生过程研究更加定量化，尤其是光释光、宇宙成因核素等地学测年技术的应用，使土壤发生时间、速率和程度的推算成为可能。③土壤变化的定量监测与建模更加综合化，监测网设计与多模型的综合是目前需解决的重要问题；这种研究表现在方法学上的定位和长期观测研究，交换通量的监测、计量和模拟研究，土壤发生的长时间尺度研究和气候变化-水文与土壤的交互作用研究，特别是土壤发生的地球因素相互作用视角、圈层交互作用视角和生物地质作用视角等，推动了土壤发生和形成演变的系统研究。④建立全球统一规范的数据信息系统的呼声愈加强烈，全球统一规范的土壤数据系统不仅仅是土壤信息化的必然趋势，同时也是为全球变化研究以及政府决策支持提供有效信息的客观需求。

**4.1.2 土壤性质与过程领域研究** ①土壤结构动态变化的先进研究方法趋于非破坏性、原位化、可视化、模型模拟化，并在土壤水分优化利用和结构演变稳定性机制等方面得到了很好的应用。②土壤有机碳氮转化过程及其影响机制，尤其是颗粒态碳和生物纳米级的固定机制；研究有机污染物的陆地生物配体模型及相关参数成为土壤污染化学的一个新趋势。③土壤中基因及蛋白组学研究成为土壤生物学研究的前沿，尤其与土壤物理、土壤化学等形成的界面过程与机理。④土壤矿物与碳稳定性，是研究土壤中矿物结合态碳相互作用的一个新观点，对进一步从微观水平上深入研究土壤碳周转、固定及储量有着十分重要的意义。

**4.1.3 土壤利用与管理研究领域** ①土壤评价与利用规划是土壤资源保护的重要基础工作，建立并发展基于不同农村和城市土壤的功能、属性、土地需求

等的全球及地区尺度土壤评价方法。②高地农业的土壤侵蚀问题仍然是国际上关注的热点。③生物强化成为解决国际上土壤和植物与人类微量营养元素缺乏的重要途径。④土壤工程与技术、土壤退化控制、修复与再利用成为土壤保护与利用的重要研究方向。

### 4.1.4 土壤在社会和环境可持续发展的作用方面

①土壤自然资本价值评价越来越重视，并充分发挥其生态系统服务功能，有利于土地评价与规划的综合管理。②基于流域氮磷面源污染控制技术与管理模型，将水土氮磷元素与土地利用方式和施肥结合起来，实现不同土地利用方式下流域氮、磷等化学物质的动态模拟。当前国际土壤学研究在基础理论上有所发展时，同时这些土壤学理论研究成果在技术体系与产业开发上有所创新，如有关免耕技术成立了产业开发公司。③土壤已经成为世界各国环境教育的一个重要组成部分，逐渐深入至人类生活的方方面面，土壤环境教育、文化、艺术等与人类生活要素关系日益密切。

### 4.2 新方法、新技术及长期定位观测试验成为土壤学发展的重要手段

当前国际土壤科学的快速发展，很大程度上依赖于基础理论学科新方法和新技术的应用。如土壤物质形态和性质研究技术方面，应用同位素生物地球化学法元素识别技术、稳定性同位素等用于土壤-植物系统中生命元素循环、迁移和去向研究的标记和示踪；同步光谱显微镜技术和同步辐射技术是成为土壤界面过程研究的新技术，可探讨微米和亚微米空间化学特征、颗粒物及其对表面和亚表面水质量及土壤微环境中的影响、亚微米尺度下微生物群落信息、黏土矿物和有机质的相互作用机制以及土壤物理化学生物界面交互作用等研究，为深入揭示土壤中复杂生物地球化学过程提供了可能。新的遥感遥测与制图技术应用于研究土壤调查和土壤-作物系统动态变化的监测与制图，红外发射光谱法、发射性反射光谱法和光栅分类法等技术不断提高土壤监测的准确性；应用地球物理学、水文土壤学和矿物学方法，预测区域复杂盐碱土景观的尺度变化行为；采用静态、同步、静态同步和循环方式采样方法研究土壤时空演变和数字制图。

土壤圈系统的定位观测和长期试验成为认识全球变化背景下土壤数量和质量动态变化的重要途径。土壤过程-生物过程-生态系统过程的系统而连续观测成为目前的发展趋势，从农田肥料试验走向生态系统试验，从单一试验研究走向整合和网络研究，从土壤过程走向生态系统过程，在全球对比上分析全球土壤变化的特点。长期土壤生态系统研究已经纳入美国科学

基金会的临界层探测网络,并有望进入国际环境问题科学委员会。

#### 4.3 多学科交叉综合与集成成为提升和发展土壤学的趋向

近10年来,土壤学研究新方向和分支学科的发展得益于土壤学分支学科之间以及与其他基础科学的渗透与融合。例如,生物学参与的土壤物质和过程的研究,衍生出土壤生物物理研究分支学科;微生物学、微形态学、土壤颗粒与土壤结构的交叉研究派生出土壤微生物和微生态研究方向;突飞猛进的生物学特别是分子生物学技术的进步,与土壤学的交叉发展了分子土壤学、土壤蛋白组学研究;化学结构、化学计量与土壤颗粒基本物质分子组成的交叉和综合形成了分子模拟方向;数学、地统计学和土壤学的交叉形成了土壤计量学;数字技术、信息技术的发展使得土壤信息系统研究和数字土壤研究成为现实,改变了传统土壤学分析的模糊和定性的形象。特别是在土壤的环境研究上,土壤学与生态毒理、环境毒理、化学毒理、风险管理学等学科的交叉融合奠定了土壤环境与健康风险的研究领域方向。而临界带土壤的研究,则是整合了微生物学、水文学、生态学、环境科学、地球化学、地质学、大气科学的知识和技术,在考虑土壤过程、功能及服务上与地球系统科学接轨,使得土壤学在解决地球各圈层交互作用以及诸如农业与面源污染、土壤与全球变化、跨界面和跨流域环境污染与控制等问题的能力大为提高。

#### 4.4 社会与公众需求成为土壤科学发展的推动力

不断变化世界的可持续发展需求极大地推动了国际土壤学的发展。如不断增长的人口对粮食供应的需求成为农业土壤学尤其是土壤肥力和生产力研究的持续动力;全球资源环境日益突出的矛盾推动了土壤资源与土壤环境研究领域的快速发展;全球气候变化及其相关国际公约,使土壤碳循环与固碳土壤学成为国际土壤学的前沿领域;科学研究的全球合作和重大国际科学研究计划,也推动了土壤学的全球对比与网络化,如形成了国际有机质研究网络和全球土壤变化与长期试验网络的跨区域和国家综合研究,并正在推进国际土壤分类系统和数字土壤制图的全球合作研究。

### 5 当前我国土壤学面临的差距与挑战

当前国际土壤科学发展呈现出研究的前沿更新;研究的领域更深、更广;研究的内容更综合、更交叉;研究的任务更着重理论创新、更加面向社会需求;研究的技术与方法更先进;研究的趋势更定量化、更动

态、定位、更突出长期监测;而且研究范围日趋全球化、国际化。当前,美国、欧洲是国际上土壤科学十分发达的国家,在基础理论、高新技术、模型的发展以及土壤分类系统的发展和土壤参比等研究上均有所创新。澳大利亚在土壤资源评价、土壤信息系统、生态系统服务与可持续发展中的土壤、水和养分流失问题等研究十分突出;值得注意的是近年来德国的土壤科学技术发展很快、进展突出。

近几年来我国土壤科学已有较大发展,与国际土壤学相比,土壤学的某些分支,如表面化学、土壤温室气体、植物营养、土壤水分、肥料试验、水稻土、土壤污染修复等研究方面,在一定程度上有所发展,但仍存在不少差距。首先,缺乏明确的战略研究前沿与方向。当前在土壤单一学科项目的研究上虽有所发展,但在土壤系统分类、土壤信息、土壤生物、土壤生态等方面仍存在差距,如何通过这些分支学科的研究,提炼出整体的战略性研究前沿与领域,是值得深思的问题。其次,学科发展单一,缺乏综合、交叉与融合,不少研究课题的选择,在单位与部门之间,出现分散、割裂与重复,研究思路难于创新。第三,研究的学科发展不平衡,如土壤生物与微生物学,土壤信息与遥感,土壤资源等学科分支,均缺乏全面发展与规划。第四,土壤新技术的应用与建设,包括技术平台与长期定位试验基地的建设与投入,均缺乏全面安排。正因上述问题的影响,使我国当前在土壤学理论研究领域上,缺乏引领性的研究成果,特别是缺乏方法论方面的创新,在解决国家重大需求的任务与问题上,难于提出重大的战略设想与方案。

因此,我国土壤学研究又将面临新的挑战,其中包括土壤学研究基础理论与实践应用发展的挑战,土壤质量与数量保持与平衡的挑战,人口-土壤资源-生态、环境-经济相协调的挑战,土壤与农业可持续发展的挑战及社会文化与经济发展对土壤学研究影响的挑战等。我国土壤学今后的发展任务与要求十分艰巨。为此,我们需要认真总结经验、努力思考、开拓创新、求真务实,坚持做出长期、深入和系统的研究成果,真正为国家经济建设及国际土壤学发展做出重要贡献。

### 6 我国未来5~10年土壤学研究方向的建议

今后我国土壤学的发展必须首先适应与面临全球能源、资源、生态、环境、农业、全球变化、自然灾害、经济危机及人类生命健康等八大问题的挑战。土壤学是一门应用基础性学科,社会的需求是土壤学发

展的最大驱动力。目前我国面临的土壤学问题主要是如何进一步提高土壤生产力和可持续利用能力，满足人口不断增加对粮食和其他农产品的需求；如何提高农用化学品和水资源利用率，减少环境污染；最大限度地开发土壤的环境保持功能，缓解区域和全球环境向不利方面发展。上述问题所涉及的土壤科学问题应是未来5~10年应该重要优先发展的领域。

### 6.1 土壤发育与土壤信息

重点研究土壤演化速率，以地学定年为基础的古土壤与环境演变以及近代人为活动的土壤学记录；深入研究以基层分类为主要内容的土壤系统分类，以国际上统一分类为导向的开展分类参比研究；研究土壤遥感与信息技术中土壤学、农学、地学等的机理，构建标准光谱库，土壤遥感图像处理与自动分类技术，多元、多维复合分析的智能化处理，以及新型传感器数据分析处理技术；土壤数字制图和土壤数据库的数据标准化，开发“3S”一体化技术。

### 6.2 土壤资源和土壤质量演变

研究自然作用和人为活动影响下土壤侵蚀的形成过程、机理及其响应机制，典型区侵蚀产沙原型观测，跨尺度的土壤侵蚀评价系统理论与预测模型；土壤侵蚀研究方法的系统集成，径流-泥沙(土)-面源污染物相互作用机制；研究土壤侵蚀模型中参数的区域规律，建立模型参数与气候、土壤、植被、地形特征等宏观区域参数间的关系；盐渍土土壤质量演变的规律与机制；盐渍土演变与土壤盐渍化的高效评估；盐渍化的发生与防控机理；盐渍土资源的修复理论和技术。

### 6.3 土壤性质与多界面过程

研究土壤物理过程和化学、生物过程的耦合迁移，建立土壤基本特性与土壤水、盐、溶质、热、气迁移特性的内在定量关系；研究土壤水-盐-肥耦合调控的机理和模拟，不同耕作制度和管理措施下土壤特性和生物物理过程的演变机制及其监测技术与方法、定量描述和模拟以及调控管理；研究土壤胶体的结构、亚结构及特性，以及纳米相界面反应和纳米颗粒相互作用的机理；开展纳米微域中土壤固定、液体流的动态监测，研制相应的非均质体系模型；土壤组分与有机物/微生物作用的界面过程分子机制及分子模拟；土壤生物对非生物组分的响应性机制和土壤结构的稳定性机制；土壤矿物表面铁循环与物质转化的化学过程，生物起源的矿物形成过程、机制及其在污染物迁移和可溶性中的作用。

### 6.4 土壤分子生物学与蛋白组学

以土壤微生物群落的遗传信息为研究对象，采用先进的分子生物学手段，构建土壤微生物环境基因组学和蛋白组学库；研究土壤生物代谢过程及其影响因素和产物；生物氧化作用形成炭黑生物化学过程与机理，土壤生物氧化还原过程及其作用机制等；极端环境、微域空间与根际界面土壤生物驱动过程、互作方式及其调节机制研究；复杂群落及食物网水平土壤生物相互作用及其生态功能。

### 6.5 土壤利用与全球变化及生态系统

通过多目标、多类型(农田、森林、草地、湿地等)的长期野外观察网络，研究不同生态系统土壤碳汇提高和稳定的机制，全球变化下土壤响应与反馈的过程和机理，特别是土壤碳、氮循环与温室气体产生和释放的关键过程和因素作用；全球变化背景下不同类型生态系统土壤碳动态的模型模拟和准确预测；全球变化的土壤生态过程与响应机制；污染退化土壤的土壤植物-微生物强化修复机理；在植被恢复过程中土壤生物多样性与植物多样性协同性及反馈和影响机制；土壤生物在植被恢复过程中对生态系统健康的指示作用等。

### 6.6 土壤养分、肥力与生产力

研究农田生态系统内源有机质转化途径及其关键生物群落与功能；影响有机质积累、转化的环境因素与调控机制；土壤有机质提高对高生产力条件下生态系统稳定性的影响机制；土壤养分转化的生物学过程及其机制；土壤根际过程与养分资源高效利用机制，主要包括作物根系诱导的根际养分活化过程及其分子机制，根际微生物与根际养分转化过程，根系与水分养分时空耦合的作物根层水肥调控机制；高生产力条件下养分资源综合管理理论与技术；土壤肥力的演变规律与评价体系；不同生态区域土壤肥力的演变规律与主要驱动因子及机制；不同尺度土壤肥力及可持续性评价的方法与指标体系；研究土壤有机碳耦合条件下氮磷在土-水界面的生物学过程及其机制，土壤碳氮共济的关键生物过程、制约条件及潜力。

### 6.7 生态高值农业的土壤学基础研究

到2020年，我院将在生态高值农业和生物产业体系中的植物种质资源与现代育种科技、动物种质资源与现代育种科技、资源节约型农业科技、农业生产与食品安全科技、农业现代化与智能化农业科技等领域的基础和应用的重大科技问题取得重要创新和突破，为生态高值农业和生物产业发展提供重要的科技支撑。

#### 6.7.1 耕地质量的定向培育与耕地资源集约利用

针对我国耕地资源减少的空间分布格局,研发区域耕地综合承载能力评价方法与技术、区域耕地集约利用与节地技术、区域耕地利用协同耦合与规划技术;研究和建立不同区域“耕地替代技术”(包括土地整理补充、宜耕地土地后备资源开发和土地复垦补充);建立区域耕地规模经营的政策和方法。全面建立国家土地资源安全保障与调控系统。

**6.7.2 水肥耦合管理与流域水资源保护利用** 面对农业水危机的威胁,重点研究保障农业粮食安全的需水耗水规律和农业需水预测体系,研究流域水资源的保障措施,开发和推广包括基于 ET 管理的真实农业节水新技术、地表水和地下水的合理开发利用、基于流域知识管理的农业节水型社会建设模式。推进以流域水资源综合管理为核心的体制改革与制度创新,建设中国粮食安全水资源保障体系。

**6.7.3 农业面源污染控制与农业清洁生产** 针对我国流域生态系统物质循环失调导致的面源污染,建立区域水土和环境监测网络,研究流域尺度养分和污染物的循环过程、界面交换机制、损失途径及其环境效应;研究不同尺度(个体-流域)的资源高效群体结构、景观生态格局和流域土地利用方式,提出稳定、高效、高产的流域生态系统的结构模式;建立流域水土流失和农田面源污染(氮、磷与农药)控制的生物和工程技术与清洁生产体系,建立流域生态环境管理决策支持系统。

**6.7.4 应对全球变化的农田增汇减排体系研究** 针对流域复合生态系统,研究不同土地利用/覆盖模式下的坡地生物多样性和温室气体排放格局与全球变化响应机制,评价土地利用变化(退耕还林、还草和植被恢复)的碳汇效应,建立复合生态系统生物多样性保护技术以及增碳与温室气体减排技术与对策。

**6.7.5 现代农业条件下,主要土壤障碍形成机制与调控技术研究** 针对我国农田主要障碍类型,重点开展土壤物理(土壤压实,次生盐碱化)、土壤化学(酸化)、土壤生物退化等多重障碍的形成过程,障碍效应与调控机制。

**6.7.6 连作障碍的生态过程与调控** 针对我国农业生产中高强度利用下的生态系统退化与连作障碍问题,从生态系统角度研究主要连作障碍的致病因子与发病过程、植物对连作障碍的响应与防御机制、土壤对连作障碍的反馈机制、土壤连作障碍的诊断指标与方法,以预防为主的理念探讨土壤连作障碍的生态系统防治原理与技术,为农业生产资源的替代战略的实施、农产品质量的提高、农业可持续发展提供理论与

技术支持。

**6.7.7 精准农业和信息化农业科技发展研究** 未来世界农业信息技术和精准农业的需求主要以互联网应用,遥感信息解译,专家系统、模型系统、智能信息系统、智能化装备为核心,并进行智能化、集成化、专业化、网络化、多媒体化、实用化和普及化。该项研究可为我国未来现代农业发展提供科学及技术支持。

**6.7.8 土壤质量标准研究** 必须加强土壤质量的综合性研究,该领域不仅仅是单纯的土壤环境质量的表征,更应该是“土壤-植物”系统、“投入品-土壤”反应、“土壤利用与管理”、“灌溉水-土壤”效应等方面的相关基准与规程研究及其标准化,需要土壤学专家、农业专家、生态环境专家、标准领域专家的努力,建立我国土壤质量标准框架体系,推进国家标准战略。对口国际标准化组织土壤质量委员会(ISO/TC 190)。具体包括与土壤科学相关的标准:术语的评审和整理、土壤采样方法、土壤分析的化学方法与土壤特性、土壤分析的生物学方法、土壤分析的物理学方法以及土壤质量现场评价的国家标准的制修订工作。

**6.7.9 土壤环境污染防治与修复技术体系研究** (1)土壤环境分析方法与技术体系:研究土壤重金属、类金属、持久性有机污染物及新型污染物的分析方法及其参比物质、标准物质,构建我国土壤环境分析方法体系与参考物质库;研究重金属污染物形态及预测模型及其软件系统;持久性有机污染物的降解中间产物鉴定技术;新型污染物的风险筛查与毒性测试技术;研发具有自主知识产权的新型高效采样设备,消化、萃取、净化处理技术与装置等。

(2)土壤环境污染与修复调控机理:研究我国不同区域和不同利用方式下土壤污染时空分布规律、成因、态势及其影响;土壤污染物的界面反应、传输、迁移和分配过程;污染物在土壤胶体-溶液-生物界面的形态及分布、跨膜运输及亚细胞分配过程;根圈土壤中土壤组分-生物-污染物的交互作用机制;污染物之间及其与无机营养元素之间的相互作用机制;土壤重金属污染物的植物修复分子机理;土壤有机毒物的根际微生物代谢过程、多过程协同降解及生物修复机理;土壤污染物的微生物、动物致毒机理,地下食物网传递过程和生物响应机制。

(3)土壤环境污染风险、基准与标准体系:研究基于土壤分类级别和空间尺度的土壤环境背景基准;农田土壤污染物的生物有效性、作物-食物链富集规律



以及生态风险；不同利用方式下场地土壤污染物暴露途径、模型与健康风险及迁移风险；土壤污染的生态诊断指标体系和土壤生态毒性数据库；污染土壤修复基准与决策支持系统。

(4) 土壤环境监测技术与设备体系：研究土壤污染化学、生物与生态监测方法技术与设备；原位土壤固、液、气相监测技术与设备；在线与联网监测技术与设备；土壤环境电化学和生物传感器监测技术与设备；土壤污染事故应急自动监测设备；大范围土壤环境遥感监测技术与装备；土壤环境过程系统模拟技术与设备；土壤环境污染预测、预警方法与技术；区域土壤及场地环境的定位监测技术、设备与支撑平台。

(5) 土壤环境污染控制、修复技术与设备体系：研发不同行业污染场地的物理、化学修复关键技术与移动式或固定式的修复设备；矿区土壤污染控制与生态修复技术及设备；农田土壤重金属污染的物化修复、生物修复及其联合修复技术与设备；农田土壤有机污染生物强化原位修复技术与设备；污染土壤修复剂及强化功能材料的研制工艺、技术与设备；土壤含水层污染原位控制和修复技术与设备。

(6) 土壤环境面源污染及酸污染控制技术体系：研究基于多点原位动态观测的流域稻田氮磷迁移通量及其时空变化规律和预测模型；基于种植制度调整及保护性耕作的农田面源污染防控技术，养殖业固体废弃物资源化利用技术，农田径流氮、磷的生态拦截技术；农田面源污染综合技术集成与示范应用；土壤氮磷污染发生发展的临界值与数值化模拟和最佳管理方法；研发不同致酸类型（如大气酸性物质沉降、施肥、污灌、酸性矿水等）土壤酸化过程与控制技术体系；高风险面源污染土壤和强酸污染土壤的修复技术。

(7) 土壤环境信息与应用技术体系：建设土壤样本库、土壤-植物富集系数库、土壤生物毒性数据库、污染物属性数据库及土壤污染调查数据库等，集成全国不同行政级别、多属性的土壤环境数据；研究基于

土壤类型及其属性的空间插值技术、土壤环境信息的多尺度转化技术；遥感、地探雷达获取的土壤属性与污染相关数据、图像信息的识别、解译及远程传输技术；自动数字制图系统以及多维、可视化、人机交互的土壤环境信息与污染场地修复决策支持系统。

(8) 土壤环境政策、资金机制与监管体系：研究我国土壤污染环境管理急需的法律法规和标准、规范等体系框架与制订方法学；污染土壤环境修复的资金筹措机制；国家土壤优先控制污染物名录和污染场地分类管理方法；土壤环境功能区划的方法学，土地功能置换的支撑标准与管理办法；基于风险的我国污染场地排序系统及国家优先污染场地产生办法；土壤污染事故应急预案的框架体系以及实施程序。

总之，未来土壤科学发展面临的机遇与挑战是严峻的，需要紧紧把握国家需求，认真做好战略研究，加大具有前瞻性的科学技术研发和现有成果的转化力度；增强危机意识，凝练科学目标，全面规划学科发展战略布局，加快形成具有中国优势的现代土壤学理论体系；注重战略和领军人才的培养，调整和优化研究梯队，加强团队建设，切实提高研究队伍的持续创新能力；充分发挥良好的合作基础与优势，巩固和扩展国际化的合作研究基地，加快国际化进程。

最终，我们坚信，我国土壤科学发展的未来形势将与全球一样都是无限美好的。

#### 参考文献：

- [1] 农业科技领域发展路线图研究组. 生态高值农业和生物产业体系及我院至2020年科技战略重点建议. 2009
- [2] 赵其国, 骆永明, 滕应. 中国土壤保护宏观战略思考. 土壤学报, 2009, 46(6): 1140-1145
- [3] 赵其国. 土壤科学发展的战略思考. 土壤, 2009, 41(5): 681-688
- [4] 赵其国, 周健民. 为不断开拓与创新土壤学研究新前沿而努力奋进—第18届国际土壤学大会情况综合报道. 土壤, 2007, 39(1): 1-192