

国际土壤科学研究的新进展

赵其国, 滕 应

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要: 土壤科学在国家自然资源保护、农业可持续发展和生态环境建设中具有重要作用。本文结合国际土壤科学研究新进展和发展态势, 提出了我国土壤科学未来发展的战略目标与任务以及我国土壤学的优先领域, 并探讨了我国土壤学科发展的总体思路与值得深思的问题。为进一步推动我国土壤科学的发展提供学术指导。

关键词: 土壤科学; 土壤圈; 地球临界带; 优先领域

中图分类号: S15; X53

土壤是人类赖以生存和发展的基石, 是保障人类食物与生态环境安全的重要物质基础。土壤学是认识自然界和人为活动下土壤组成、性质、过程、功能及其发生发展规律的独立学科。当前, 全球面临的资源紧张、能源短缺、环境污染和气候变化等重大挑战^[1], 如何协调发挥土壤的生产功能、环境保护功能、生态工程建设支撑功能和全球变化缓解功能, 是现代土壤学为人类可持续发展做贡献的重要任务。

进入 21 世纪以来, 土壤学学科发展和科学地位得到了不断提升。国际土壤学会(ISSS)升格为国际土壤学联合会(IUSS), 并成为国际科联的独立成员, 充分反映了土壤学的学科地位和发展形势。在 2010 年 8 月的第 19 届国际土壤学大会上, 国际土壤学联合会机构设置了土壤时空演变、土壤性质与过程、土壤利用与管理、土壤在社会及环境中应用等 4 个部门和 21 个专业委员会。同时, 还设立了若干专业委员会, 来吸纳和推进交叉学科的土壤学研究^[2]。这一方面说明国际土壤科学自身得到了进一步的发展, 同时也充分反映了国际上共同关注的重要土壤科学问题, 促使国际土壤科学的基础研究和应用研究得到了蓬勃发展。鉴此, 笔者借中国土壤学会第十二次全国会员代表大会召开之际, 较为系统地分析了近年来国际土壤科学研究的新进展, 并对我国土壤科学的战略发展提出了新的思考。

1 国际土壤科学的发展趋势

1.1 土壤过程与演变研究向地球临界带扩展, 成为地球系统科学的组成部分

1985—1990 年, 我国提出了土壤圈(pedosphere)

的概念。土壤圈是指覆盖于地球表面和浅水域底部的土壤所构成的土、水、气、生、岩圈层的连续体^[3]。2001 年美国提出了地球临界带(critical zone)的概念(图 1)。地球临界带是地球表层系统中最为活跃、与人类关系最密切的部分之一, 是指异质的近地表环境, 岩石、水、空气和生物在其中发生着复杂的相互作用, 调节着自然生境, 决定着维持生命的资源供应^[4]。地球临界带界面包括陆地生态系统中土壤圈及其与大气圈、生物圈、水圈和岩石圈进行物质迁移和能量交换的交汇区域, 水和土壤是地球临界带的核心组成部分, 而且在不同时空尺度上相互作用^[5-7]。地球临界带研究的时空范围包括了从微观到全球、从秒到永世的广泛尺度, 临界带中的物理、化学和生物过程调节着物质和能量的交换。地球临界带过程控制着土壤的发育、水的质量和流动、化学与生物循环。地球临界带研究包括临界带界面控制的碳通量、微粒物质, 控制土壤和水资源长期可持续性及其重要的生物地球化学过程和机制, 以及临界带界面上营养生态系统在地质和人类时间尺度上的变化过程等。从地球临界带到星球探测中土壤的“7+1”作用^[5,8]。地球临界带是土壤圈的重要组成部分, 其中土壤和水是地球临界带的核心, 为深入认识地球表层系统过程与演变提供科学指导。

在地球系统中, 地球临界带具有高度的异质性和复杂性区域^[4], 而土壤则被认为是最为复杂的生物材料^[9-10]。尽管地球临界带具有高度的复杂性和动态性, 但是它具有以下一般属性(图 2): 临界带的演变性: 通常情况下, 地球临界带的变化是不可逆的和

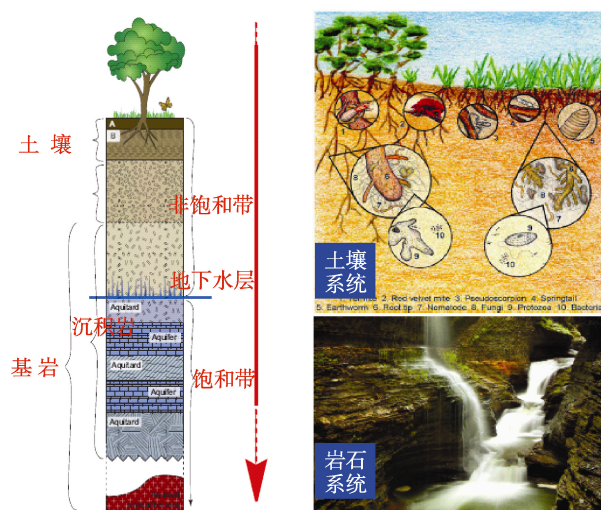


图 1 地球临界带(Critical Zone)概念图
Fig.1 Conceptual framework of the Critical Zone (CZ)

累积性的,是渐进的过程或受极端干扰而变化,越来越多的人为活动对临界带的影响已普遍而持久。临界带是一个耦合的系统:在完全不同的空间和时间尺度的地质和生物过程的循环是认识地球临界带的一个关键,涉及到地球系统不同圈层的耦合。临界带具有鲜明的垂直层:地下各层之间的界面控制着临界带对地上系统变化的响应和反馈,如气候和土地利用变化。临界带具有高度水平异质性:在临界带的异

质性表现出了层次组织(其中表现出概念尺度之间的差距)和景观网络性(提供高效的传输质量和能量的跨尺度)。总之,这些属性有利于形成一个全面和进化论的地球临界带世界观,而不是经典的还原论和机械论。

至 2009 年 10 月为止,美国共建立了 6 个临界带观测站,分别是建于 2007 年的内华达山脉临界带观测站(Southern Sierra CZO)、博尔德溪临界带观测站(Boulder Creek CZO)、萨斯奎汉纳/西尔斯山地临界带观测站(Susquehanna/Shale Hills CZO)和建于 2009 年的赫梅斯河流域-圣卡塔利娜山临界带观测站(Jemez River Basin-Santa Catalina Mountains CZO)、克里斯蒂娜河流域临界带观测站(Christina River Basin CZO)、卢基约临界带观测站(Lequillo CZO)^[11]。科学家们利用土壤、生态、生物、水文、地理、地貌和地质化学等综合方法,研究地球临界带,包括土壤功能如何响应农业集约化利用和其他人类干扰,以及土壤水文过程如何影响整个生态系统演变。

1.1.1 临界带土壤水文过程研究 水文土壤学以景观-土壤-水系统为研究对象,研究不同时间、空间尺度上的土壤和水相互作用的物理、化学和生物过程,包括化学物质与能量的水分运移、土壤分布与水文过程和地貌过程的相互作用关系等。其关键科学问

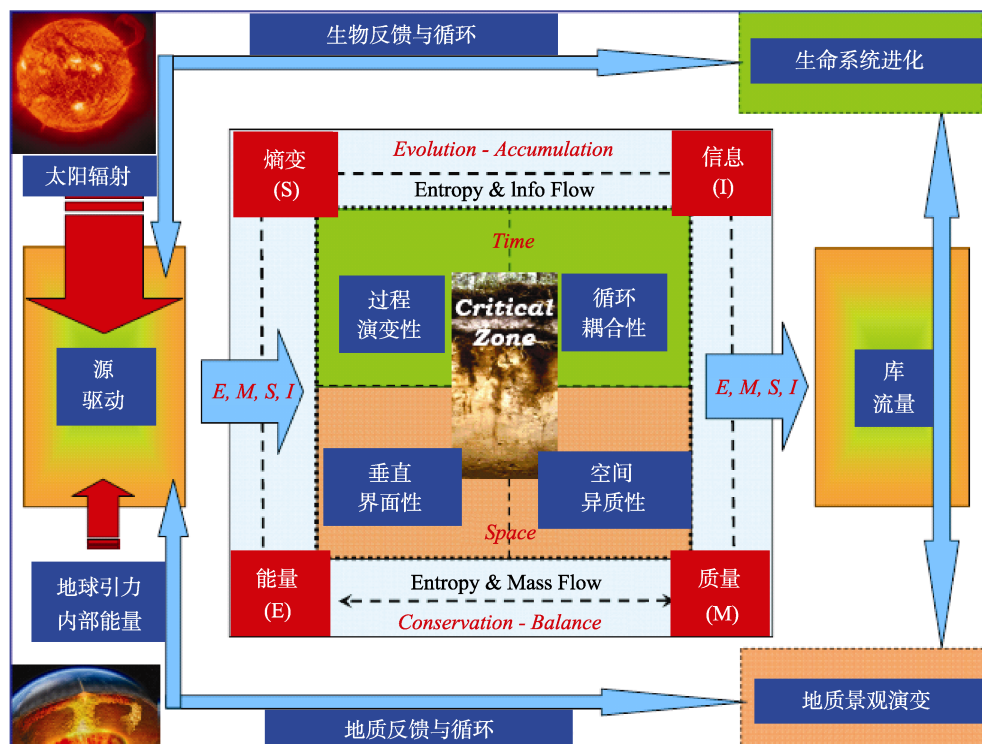


图 2 地球临界带特征示意图^[8]
Fig. 2 Characteristics schematic of the Critical Zone (CZ)

题: 土壤结构和分层作用与原位水流和化学传输: 强调土壤结构(固体+孔隙+界面)和跨尺度优先流定量表达; 土壤链和分布格局与景观尺度的水运动: 侧重于土壤及其周围景观和水文等关系的影响(以及相关的生物地球化学/生态)进程之间的定量关系; 土壤形态和土壤发生与土壤水文和土壤变化: 强调土壤水文形态学作为土壤水和土壤响应环境变化的指示; 土壤功能和制图与土壤质量和土壤景观异质性的“载体”: 促进景观中功能土壤单元定量划分以及多用途的高精度土壤景观制图。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。

1.1.2 临界带土壤生物过程研究 临界带是地球上所有生命维持过程的交汇区, 有必要加强认识地上和地下生物多样性的复杂动态关系及其对全球变化的响应^[12]。其关键科学问题包括: 加强研究地球临界带微生物群落功能与风化过程之间的动态; 加强研究临界带不同生物群落对地球化学过程及循环的影响^[13]; 通过宏基因组学、宏转录基因组学和 DNA-SIP 等新技术探明临界带土壤中不可培养微生物的代谢能力及其在土壤生态系统中的功能; 加强研究临界带土壤中基因表达和蛋白组学, 发展国际 DNA 序列数据库中土壤元数据标准; 利用土壤 mRNA 和蛋白质分子的提取和描述来监测基因表达; 利用土壤蛋白组学研究细胞-环境过程以及同源和非同源细胞间相互作用; 运用基质辅助激光解析电离-飞行时间质谱技术分析胁迫耐受性植物体基因表达蛋白质功能; 研究土壤中胞外蛋白与核酸, 磷酸酯酶对土壤有机磷化合物的特性化; 研究微生物的干旱生存生理等。

1.1.3 临界带碳素生物地球化学过程研究 研究了土壤有机碳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, 指出土壤有机质持久性可作为一种生态系统属性, 指示全球变化下陆地生态系统功能的变化^[14]; 绘制了冷冻北极土壤图集, 有助于跟踪其对未来气候变暖的响应。北半球, 特别是北极脆弱土壤, 是维持地球气候未来变化的关键。北极土壤地图集汇集了 50 年多年来整个北极圈地区不同国家数千个土壤剖面数据, 包括加拿大、俄罗斯、

美国及北欧等; 从 2000—2005 年间因总森林覆盖率损失引起的碳年排放量分布来看, 森林碳总损失的 40% 集中在干热带地区^[15]; 据估算, 从 1990—2007 年间陆地森林每年总碳库为 $C\ 2.4\ Pg \pm 0.4\ Pg$, 其中 $1.3\ Pg \pm 0.7\ Pg$ 来自热带地区土地利用变化^[16]; 发现了全球变暖条件下土壤呼吸(RS)升高的可能驱动机制是土壤中原有碳因分解而产生碳损失^[17]; 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。

1.1.4 临界带氮素生物地球化学循环研究 发现了控制地球生态系统氮素生物转化途径重要过程的酶编码基因^[18], 包括: 硝酸还原酶基因(*nas*, *euk-nr*, *narG*, *napA*)、亚硝酸盐还原酶基因(*nir*, *nrf*)、一氧化氮还原酶基因(*norB*)、一氧化二氮还原酶基因(*nosZ*)、固氮酶基因(*nif*)、氨单加氧酶基因(*amo*)、羟胺氧化酶基因(*hao*)、亚硝酸盐氧化还原酶基因(*nxr*)、胍水解酶基因(*hh*)。通过研究 1970—2005 年间人为氮排放热带森林系统氮素循环的长期变化, 指出人为氮沉降是导致区域氮有效性增加的重要过程^[19]。

通过大气中 HONO 与土壤亚硝酸盐的耦合模型发现, 土壤亚硝酸盐可以释放 HONO, 尤其是低 pH 施肥土壤是亚硝酸和 OH 的重要来源^[20]。由此, 农业活动和土地利用变化可能会强烈地影响大气的氧化能力。由于土壤中普遍存在产亚硝酸盐微生物, 因此自然环境中土壤释放的亚硝酸是重要的, 包括森林和寒带地区。全球气候变化下, 地球临界带持久性污染物(POPs)与碳氮生物地球化学循环耦合机制成为目前国际土壤科学研究的一个新的生长点^[21]。

1.2 新方法、新技术以及长期定位试验成为土壤科学发展的重要手段

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, 同位素生物地球化学元素识别技术、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; 同步光谱显微技术和同步辐射技术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、颗粒物质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与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。

临界带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。

1.3 多学科交叉综合与集成研究是提升和发展临界带土壤科学的重要方向

近年来,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境和微生态研究方向;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。

1.4 社会与公众需求成为土壤科学发展的推动力

不断变化的世界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,也推动了土壤科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。

2 我国土壤保护总体目标与任务

土壤不仅是国家的主要自然资源之一,而且是地球临界带的核心环境要素。面对现阶段和未来相当长一段时期显现的或潜在的土壤资源退化和土壤环境污染问题,近年来我国制定了国家土壤保护的总体目标与任务^[1]。

总体目标:以维护土壤生态功能、改善土壤环境质量,保障农业生产、食物安全和人体健康为目标,查明全国土壤资源数量和质量状况,提高土壤肥力和净化功能,有效避免、遏制或消除土壤资源退化和土壤环境污染;积极推进土壤科技创新,发展土壤圈层(地球临界带)理论和研究方法,建立土壤退化和土壤污染的控制修复技术应用体系,创新现代土壤科学,促进土壤科技进步和专业队伍建设;不断完善中国土壤保护法制、体制和机制,提升我国土壤质量监管能力,逐步健全国家土壤保护体系。

近期目标(到 2020 年):建立和健全我国土壤保护法制、体制和机制,初步建立国家土壤保护体系,实现土壤资源数量和质量的有效监管;进一步摸清全国土壤资源数量和质量状况,提升土壤保护科技研究水平;使土壤污染退化趋势总体得到有效遏制,对食品安全、饮用水资源和人群健康构成重大隐患的土壤污染区得到有效治理,生态环境脆弱区和农业主产区的土壤保护取得阶段性成效。

工作任务:以保障与促进农业发展的土壤环境保护、保护生态与人体健康的土壤污染防治、生态环境脆弱区土壤退化修复和重要生态功能区的土壤保护治理为基本任务,以土壤环境科技和土壤环境管理为完成土壤环境保护战略任务的两大基点。针对性地系统研究全国性和区域性土壤资源与环境质量科学问题,开展全面、系统、准确的全国土壤资源数量与质量以及污染源的动态普查,建立全国土壤资源和土壤质量数据信息系统,认识和掌握土壤障碍问题成因与质量演变规律;科学地系统研究和建立土壤质量基准和保护标准体系;在土壤环境监测、水土流失、草地退化、土壤荒漠化和石漠化综合防控,土壤环境点源

和面源污染控制和修复, 耕层土壤保护, 土壤次生盐碱化防治以及土壤肥力平衡等技术与设备方面, 形成适合国情的自主创新研发体系。同时, 建立和完善土壤保护法制、体制和机制, 构建基于风险的我国土壤保护体系。

3 我国未来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升地力, 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生态高值功能, 缓解区域发展与资源环境约束之间的矛盾^[22]。上述问题所涉及的土壤科学问题应是未来我国应该优先发展的重要领域。

3.1 土壤发育与土壤信息

研究地球临界带土壤演化速率, 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, 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; 发展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; 实现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。

3.2 土壤资源和土壤质量演变

研究地球临界带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综合集成及径流-泥沙(土)-面源污染物相互作用机制; 建立基于宏观区域参数的土壤侵蚀模型; 研究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。

3.3 土壤性质与多界面过程

研究地球临界带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、能量的定量关系; 研究关键带土壤水-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; 研究土壤组分与有机物/微生物作用的界面过程分子机制及分子模拟; 研究土壤生物对非生物组分的响应机制和土壤结构稳定性机制; 研究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中的作用。

3.4 土壤分子生物学与蛋白组学

以地球临界带土壤微生物群落为研究对象, 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; 研究极端环境、微域空间与根际界面土壤生物驱动过程、互动方式及其调节机制; 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。

3.5 土壤利用与全球变化及生态系统

研究地球临界带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, 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。

3.6 土壤养分、肥力与生产力

研究地球临界带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及调控机制; 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; 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。

3.7 南方丘陵区关键带中水分-土壤-生物的耦合过程、规律与调控原理

研究典型红壤退化生态系统关键带分区特征和影响因素; 典型红壤退化生态系统关键带水分-养分-污染物迁移转化的时空变异规律与主控因素; 典型红

壤退化生态系统中不同管理措施对关键带水分-元素-生物耦合过程的影响效应与机制;关键带水分-元素-生物耦合过程的空间模型构建与检验;流域尺度上退化红壤生态系统综合调控原理与修复效应评价方法。

3.8 土壤污染过程、控制修复和风险管理

从微观尺度上研究地球临界带土壤界面污染物物理、化学反应、传输、迁移和分配过程等;借助同步辐射等现代纳米空间尺度谱学技术,对土壤界面相关吸附解吸、残留降解、迁移转化等物质循环过程进行原位动态监测;研究污染物在土壤胶体-土壤溶液-生物界面的化学和物理形态及分布、跨膜运输、化学态分布及亚细胞分配等过程;研究根圈土壤中土壤组分-生物-污染物的交互作用机制,污染物的实时生物降解机理等;研究酸化、次生盐渍化与污染物共存的复合障碍形成机制、修复原理与方法;研究新型污染物生态效应以及土壤修复基准及修复后评估。

未来土壤科学(地球科学)研发的总体思路:

(1) 研究方向:基础研究——面向科学目标;实践研究——面向国家需求。

(2) 研究内涵:时间与空间演替;数量与质量统一;宏观与微观结合;地面与空间呼应;单科与多科交互;信息与遥感连接;自然与人为前提;源与汇的转变;点片面的分异;精准到精细的发展。

(3) 研究程序:从类型-属性-过程-演替-影响-调控;贯彻全面(整体性)-关联(连续性)-可持续发展(战略性)思路;突出特性变化-利用管理-面向社会。

(4) 当前学科的发展:时间与空间特性的跨度更大;数量与质量(定量与定性)的显著度更明显;宏观与微观的结合更加延伸;学科的交叉与结合更突出;资源与环境的管理、规划及修复更统一;科学研发面临的农业环境、民生健康安全任务更加紧迫。

(5) 开发研究部分:内涵:从资源-环境-经社-市场-产业化;走向:科研-技术-企业-产业,包括产-学-研-用以及科-贸-工-商相结合的方式。最后,将科研成果转化为社会生产力。

值得大家思考的问题:

(1) 当前中国土壤科学及土壤资源环境学,究竟有哪些核心研究问题?应如何进行创新研究与发展?

(2) “临界带”将来是否可成为现代土壤科学发展的理论研究方向?我国土壤学是否可通过“临界带”研究提升我国当代土壤科学的研究水平?

(3) “土壤圈层及其界面”研究,是否可与“临

界带”的研究相结合?这样是否会更加突出全球区域土壤科学发展的水平与特点?

总之,未来土壤科学发展将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,只有做到以下四点才能出国家及国际级的大成果!

第一:坚忍不拔,集中凝聚;第二:刻苦探索,十年磨剑;第三:强化团队,真诚协作;第四:智慧创新,志在必成!

最后,我们坚信,只要我国及海峡两岸土壤学界同人,齐心协力,团结奋进,就能将现代土壤科学研究,提升到一个崭新的、更高的水平!

致谢:感谢孙波研究员为本文提供了部分资料。

参考文献:

- [1] 赵其国, 骆永明, 滕应. 中国土壤保护宏观战略思考[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1 140-1 145
- [2] 赵其国, 周健民, 沈仁芳, 滕应. 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[J]. 土壤, 2010, 42(5): 681-695
- [3] 赵其国. 土壤圈及其在全球变化中的作用[J]. 土壤, 1994, 26(1): 4-7
- [4] National Research Council (NRC). Basic Research Opportunities in Earth Science[M]. Washington DC, USA: National Academy Press, 2001
- [5] Lin HS, Bouma J, Wilding L, Richardson J, Kutilek M, Nielsen D. Advances in hydropedology[J]. Adv. Agron., 2005, 85: 1-89
- [6] Richter D deB, Mobley ML. Monitoring earth's critical zone[J]. Science, 2009, 326: 1 067-1 068
- [7] Xu JM, Tang CX, He JZ. Molecular environmental soil science at the interfaces in the Earth's critical zone[J]. Journal of Soils and Sediments, 2010, 10: 797-798
- [8] Lin HS. Earth's Critical Zone and hydropedology: Concepts, characteristics, and advances[J]. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2010, 14: 25-45
- [9] Young IM, Crawford JW. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex[J]. Science, 2004, 304: 1 634-1 637
- [10] National Research Council (NRC). Frontiers in Soil science Research Report of a Workshop[M]. Washington DC, USA: National Academy Press, 2009
- [11] 张波, 曲建升, 丁永建. 国际临界带研究发展回顾与美国临界带研究进展介绍[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(5): 723-728.
- [12] Akob DM, Küsel K. Where microorganisms meet rocks in the Earth's Critical Zone[J]. Biogeosciences Discuss, 2011, 8: 2 523-2 562
- [13] Selosse MA, Rousset F. The Plant-Fungal Marketplace[J]. Science, 2011, 333: 828-829
- [14] Schmidt MW, Torn MS, Abiven S, Dittmar T, Guggenberger G, Janssens IA, Kleber M, Kögel-Knabner I, Leh-

- mann J, Manning DA, Nannipieri P, Rasse DP, Weiner S, Trumbore SE. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property[J]. *Nature*, 2011, 478: 49–55
- [15] Harris NL, Brown S, Hagen SC, Saatchi SS, Petrova S, Salas W, Hansen MC, Potapov PV, Lutsch A. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions[J]. *Science*, 2012, 336: 1573–1576
- [16] Pan YD, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Pacala SW, McGuire AD, Piao S, Rautiainen A, Sitch S, Hayes D. A large and persistent carbon sink in the world's forests[J]. *Science*, 2011, 333: 988–993
- [17] Smith P, Fang CM. A warm response by soils[J]. *Nature*, 2010, 464: 499–500
- [18] Canfield DE, Glazer AN, Falkowski PG. The evolution and future of earth's nitrogen cycle[J]. *Science*, 2010, 330: 192–195
- [19] Hietz P, Turner BL, Wane WG, Richter A, Nock CA, Wright SJ. Long-term change in the nitrogen cycle of tropical forests[J]. *Science*, 2011, 334: 664–666.
- [20] Su H, Cheng YF, Oswald R, Behrendt T, Trebs I, Meixner FX, Andreae MO, Cheng P, Zhang YH, Pöschl U. Soil Nitrite as a source of atmospheric HONO and OH radicals[J]. *Science*, 2011, 333: 1616–1618
- [21] Teng Y, Xu ZH, Luo YM. How do persistent organic pollutants be coupled with biogeochemical cycles of carbon and nutrients in terrestrial ecosystems under global climate change? [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2012, 12: 411–419
- [22] 赵其国. 土壤科学发展的战略思考[J]. *土壤*, 2009, 41(5): 681–688

New Advances in International Soil Science

ZHAO Qi-guo, TENG Ying

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

Abstract: Soil science plays an important role in national natural resources protection, agricultural sustainable development and ecological environment construction. According to international research advances and development trend of soil science, this paper puts forward the future development strategic objectives & tasks, priority research areas of soil science in China. Meanwhile, it discusses the overall development ideas and thought-provoking questions of Chinese soil science, which will provide academic guidance for further promoting soil science development in China.

Key words: Soil science, Pedosphere, Critical zone, Priority research areas