

对第 18 届国际土壤学大会召开的认识与体会

赵其国

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

1 关于土壤学研究的一些新思路

1.1 土壤学研究的前沿是当前土壤科学研究的新方向

这次土壤学大会的主题是“土壤科学的前沿：技术与信息时代”。研究纲领是“土壤学的进步”，也就是说，土壤科学研究的前沿，集中在土壤学的进步之上，即重点集中在遥感、地理信息系统、景观分析、分子尺度的先进分析技术、环境土壤生物学、植物/土壤界面过程、土壤过程和反演的计算机建模、精确农业以及其他信息科学和技术的应用等方面。

美国 2005 年研讨了“临界带界面研究的前沿”，包括临界带界面控制的碳通量、微粒物质；控制土壤和水资源的长期可持续的临界带界面及其重要的生物地球化学过程和机制；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。欧洲土壤学研究新领域表现在从理论物理、化学和计算机科学的联合产生的分子模型，分析有机物和矿物结构的具体连结过程以及在环境视野下的土壤保护问题。

南美土壤学研究的前沿主要是：土壤生物多样性及微生物学保护和利用；污染土壤治理及修复；土壤适耕地管理；土壤对气候影响等。特别强调土壤科学应与社会经济科学相结合。

澳大利亚和新西兰的土壤科学前沿是：在了解土壤功能和土壤中各个不同的生态过程基础上，解决一些环境事件如：土壤盐渍化、酸化和营养物质流失等问题。当前特别强调土壤作为自然资本的质量研究，提高土壤的生态服务功能，为自然资源和高产土壤提供有效管理方法，以满足经济与环境效益。

非洲土壤研究前沿共包括：土地利用与灾害防止和管理；土地资源潜力的土地利用政策；土壤肥力提高和土地退化修复；评价和监测土壤中碳的储存与固定；生物多样性和生物技术；监测有关转基因技术的状态与趋势；土壤信息系统及数据率和模型开发等。

值得注意的是，与上届国际土壤学大会相比，这次在原有的 18 个学术委员会基础上，增加了土壤监测、古土壤与土壤界面交互反应等 3 个新的学术委员会，说明国际土壤学研究正在增加新的研究前沿。

最后，D.D.Richter 指出，当前人类如何改变地球

上的“土壤和脆弱带”的问题仍未能解决，原因是因为土壤功能是运行在多元的时空变化尺度上。因此，应从 3 个时间尺度对土壤过程与变化进行研究。一是多千年尺度，即成土过程由矿物、地貌长期气候和生物区的几代人相互作用所决定。二是历史尺度，即人类活动的积累，或许持续作用从年到几千年。三是当代尺度。即土壤变化受当前生态系统的活跃功能所驱动。此外，Rice 也指出：土壤科学的新领域正处在一个开始阶段，当前出现的研究热点如：气候变化、固碳、水环境质量、营养物和污染物的渗流与传输、食物安全等，均需要对土壤过程和方法进行全面与系统研究。由此可见，当前对土壤形成过程的系统研究，是土壤科学研究前沿的一个新的战略方向。

1.2 土壤学的综合研究与交叉发展是当前土壤学研究的特点

当前国际土壤学研究，特别重视学科的综合与交叉研究，美国近些年来，对土壤科学的多学科交叉方法与趋势正不断增强，当前土壤科学面临的一个重要挑战是需要学科交叉研究。包括经典土壤科学的分支学科，如：土壤化学、土壤物理学、土壤生物学、土壤矿物学、土壤学之间，都必须相互合作与交流，必须通过新技术和新手段，为土壤科学提供与提高解决问题的能力，特别需从关联学科，如：微生物学、水文学、生态学、环境科学、地球化学、地质学、大气科学的知识整合上得到提高。欧洲土壤学研究，也在加强不同土壤学科之间的合作，如：土壤物理学、土壤微形态学、土壤矿物学、土壤化学、土壤微生物学之间的联合。明显的例子是“水土”的多学科项目，系由水文学家、矿物学家、化学家、土壤学家、毒物学家 50 多位专家联合，共同调查土壤、沉积物和领域范围内水质与水污染问题，并通过社会与经济学，分析领域内土壤-沉积物-水系统的调研与管理。2002 年 15 个欧洲国家的科学家们，界定了土壤的 5 种功能和 8 种危险，其中 8 各危险包括土壤侵蚀、有机质流失、土壤污染、生物多样性损失、土壤盐化、土壤封闭、土壤淹水和土地滑坡，并对这些问题开展区域性研究。亚洲地区最近期间，在研究土壤圈与水圈、大气圈和生物圈之间的物质和能量交换；非点源污染对水体富

营养化的影响;土壤质量保护与土壤污染修复;土壤生物资源及其功能开发与利用;农业生产中有机资源的处理和利用;可变电荷土壤的特性及土壤肥力与环境影响等研究方面,均在不同程度上加强了土壤学的综合与交叉研究。

1.3 新技术与新方法的应用是土壤学发展的重要手段

土壤学是随科学理论、技术与方法的发展而不断发展的。因此必须通过新的科学技术与方法的应用,促进土壤科学的发展。当前国际土壤学研究,已采用了很多新技术与新方法。例如,应用土壤时空采样;发散性反射光谱及土壤遥感和影像分析;静态、同步、静态同步和循环方式 4 种采样方法,进行土壤时空演变研究;用拉丁超立方体采样法,评价前人遗留下的土壤数据库的质量;美国农业部用中子湿度计和电磁装置的水分传感器,监测土壤水分含量;法国用虚拟现实景观模型,验证农业生态系统管理系统;此外,采用土壤遥感和影像分析、地理信息系统、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;根据古土壤形成环境条件推测古环境变化情况;根据古土壤序列的记忆特征,推测古气候的变化;采用地球化学质量平衡法,量化土壤发生学的速度。应用稳定同位素的生物地球化学法识别有机碳源;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;应用敏感地区土壤景观的物质通量,剖析土壤空间变异性。在土地利用方面,运用 RS、GIS、GPS 等技术手段进行土地可持续性评价。欧盟正准备为其境内的土壤建立一套指导框架,来保持土壤的功能和保障可持续发展。同时,利用分等级法,将遥感和 GIS 技术与土壤侵蚀空间风险模型相结合,进行土壤侵蚀地理制图和保持水土评价。在土壤肥力和植物营养研究方面,通过放射性同位素、核磁共振以及模拟等新技术的运用,研究无机磷的不可逆转的吸附;通过分子和化学生物标记技术,研究磷的微生物循环;通过作物品质和环境质量相关的农业生产上的时空变量,研究作物产量和养分利用效率(特别是氮、磷效率)。值得注意的是,当前在土壤性质及过程研究中,应用同步光谱显微镜技术是一种新出现的研究技术,它能够详细描述微米和亚微米空间的化学特征,为研究土壤中复杂的生物地球化学过程提供了可能,尤其适合于研究影响空气、水和土壤质量的颗粒物质的化学特性。此外,同步光谱显微技术,在研究颗粒物质,及其对表面和亚表面水质量及土壤微环境中的影响具有重要的作用。而分光镜和显微镜技术的发展,为获取特定元素的信息,以及亚微米尺度下微生物群落的信息也

提供了良好的机会,并可对控制或刺激土壤中 3 种威胁环境质量的元素砷、铬和铀的移动条件和阶段进行了研究。光谱技术(XRF: X 射线荧光;XAFS: X 射线吸收精细结构谱;XAS: X 射线吸收光谱)在研究土壤长期成土过程中的锌形态变化以及黏土矿物吸附铜的机理研究中也取得了很好的结果。另外,应用同步辐射技术,在黏土矿物和有机质的相互作用机制及其对有机复合物吸附的影响,以及土壤金属和非金属的物理化学和生物界面交互作用等研究上,有很好的结果。从上述可见,新技术与新方法的应用,是土壤学发展的重要手段。

1.4 面向社会与公众需求是土壤科学发展的重要基础

国际土壤学研究的情况表明,土壤科学必须在理论研究基础上,重视面向社会与公众需求。这次国际土壤学会议,大家有这样的共识:①可持续发展是当今社会最为紧迫的问题。科学家正在讨论地球所能支持的人口承载极限与土壤的承载力极限是多少?有些科学家认为未来可大幅度增加粮食产量的潜在技术不可低估。如今,全球约有 8 亿人口营养不良、22 亿人口只能维持最低的热量摄入。多数营养不良的人口分布在或者很冷、或者很干旱、或者过湿、或者过热的地区,造成难以形成农业高产。②土壤学研究始于农业科学,但它的前景却与环境科学并驾齐驱。人类对自然资源的过度攫取,已经造成全球生态系统的严重退化。最近,联合国环境署估算,即使到 2050 年人口增长持平,届时土壤退化造成的 GDP 损失也要增加 3~6 倍。因此,当前土壤学家面临的挑战,是要整合和深化土壤学的研究领域,与环境科学家、社会学家、经济学家和政治家一道,为解决日益增长的全球环境问题出谋划策。③土壤学应将造福社会作为目标,并须认真建立与决策者和公众的对话,应让社会知道,土壤学家是谁?为什么土壤科学是有价值的?土壤学家应该走什么样的道路?社会公众如何从土壤科学的发展中获益?为了使土壤学迎接可持续发展农业的挑战,必须解决涉及社会经济领域的 3 个重要问题: I. 重视防治土地退化与荒漠化。由于无节制的资源攫取,造成全球范围自然资源的快速衰减,据统计,全球约有 33% 的土地有潜在荒漠化,影响着约 10 亿人口。到 2020 年,如果不采取切实的行动,像亚洲、非洲这些人口增加最快的地区,粮食安全将成问题。 II. 重视防治生态恶化与水土流失预警的研究。越来越多的证据显示,许多国家的内乱与冲突源于土地资源的争执。因此,通过对饥荒和生态系统恶化的预警,特别是通过执行适当的水土保护的有关政策,可以减轻这些地区自然资源恶化的压力。 III. 重视土壤质量控制

和资源评价,建立全球化的数据库系统。可由各个国家或地区最终对全球的系统进行整合。有人提出加快建立全球土壤分类系统,达到全球信息共享。④要维护土壤健康、水质清洁和农业可持续发展。为此,应建立评价与预警系统以跟踪土壤资源的质量演变;使用最新技术;推荐执行有利于可持续发展农业的环境政策。土壤科学是实现这些目标的重要途径。

有的科学家在这次会上指出,土壤科学与许多科学分支有关联,但土壤科学的前景取决于我们能否充分利用科技的进步。土壤科学在向其他科学领域展示自己价值的同时,必须对其他科学领域的发展做出自己的贡献。土壤科学的挑战是,生产出既有利于科学家又有利于社会及公众的科研成果,并在自己的研究领域不断推陈出新,土壤科学的前景就在于我们如何面对这些日益增长的挑战。

1.5 基础理论、技术体系与产业开发相结合是土壤科学发展的战略途径

这次国际会议的4个部门,均有明显的土壤学基础理论创新。如在土壤时空演变研究中,提出了土壤是由母质经过长时间成土作用而形成的三维自然体的新概念;提出发展定量土壤科学;指出人类因素对土壤变化越来越占主导作用,要认识人类是怎样改变全球土壤和临界区域,并要建立长期实验活动网络,从多时间尺度观察土壤发生学的变化;发展了包括土壤、空气和水等学科紧密结合的新兴交叉学科水文土壤学;通过数字高程模型(DEM)技术,将土壤地形进行定量化和可视化;应用敏感地区土壤景观的物质通量,剖析土壤空间变异性并建立全球土壤数据库。其次,在土壤性质及过程研究中,提出了土壤结构质量的指标,并且定量了土壤退化过程;开展了土壤结构成分与微生物活性相互作用与生态系统机能联系的新研究,并应用现代分子技术和生物化学技术,研究土壤微生物群落空间变异及其生态学特征,土壤中黏土-腐殖质复合体及其交互作用;通过矿物质与有机质的交互作用研究,进一步明确了腐殖质对有机污染物的吸附、有机质-黏土复合物的分子机制及其在多环芳烃(PAHs)吸附中的作用等。又如在土壤利用与管理研究中,土壤评价和土地利用规划越来越强调环境、经济和社会之间的均衡,土壤科学正在向农业和环境领域转移;区域尺度的土壤评价已经超越了静态描述,进入到情景发展阶段;磷再度成为研究土壤肥力和植物营养关注的热点,土壤中磷的微生物循环,能更好地理解土壤中微生物调节磷转化的动力;采用降低重金属的生物有效性来改良修复污染土壤,并可通过无机-有机复合物降低其化学和生物学的移动性来实现。

最后,在土壤在社会和环境中的地位的研究中,土壤中微量元素及有害物质的环境效应和生物有效性,以及土壤中病原体对人类健康的影响等有了深入研究;应用模块集成的方式,将土壤元素与土地利用方式结合起来,实现不同土地利用方式下,土壤中碳、氮等化学物质的动态模拟。上述情况说明,当前国际土壤学研究已在基础理论上有所发展,但另一方面也必须看到,国际上的这些土壤学理论研究成果,均不断连续在技术体系与产业开发上有所创新。如在水文土壤学研究中,首先在理论研究基础上,提出了依赖土壤水力参数变化与有机阳离子吸附的技术体系,使得土壤水文学与植物生理学相结合,从而使这项研究直接应用于水库建设、水系调控与河流水利整治的开发中。又如在土壤发生过程研究中,为了实际应用,首先提出3种时间尺度变化及生态活性和功能的技术体系,并建立长期土壤实验网络,从而使这项研究为区域的土壤资源开发、土地利用规划相服务。免耕技术是第二次世界大战后,使用犁发展成的,其间经过了无数减少土壤和作物残茬的技术体系组装与试验,并成立了产业开发公司,现在才发展到全球9亿hm²土壤的免耕面积。喀麦隆南部地区的轮垦动力学研究,是通过建立土地利用轮垦制度时间序列及多标准的定量程序的土壤变量技术体系,然后才用于发展地区的农业开发战略和新的研究方向。总之,还可举出很多例证说明当前国际土壤学研究正在朝此战略方向发展。

2 当前我国土壤学面临的差距与挑战

上面提到的是这次国际土壤学大会的几点新思路。从这些思路可见,当前国际土壤科学发展的特点是: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。

此外,从发展的动态与前景看,其特点是:①十分重视现代土壤科学方法论与技术的研究,主要有微观物理观察手段(如同步辐射等)、分子生态学与基因组技术的应用等;②主要重视多尺度的模型与信息系统技术等研究;③重视基础科学与应用技术研发相结合,自然科学与社会科学相结合,全球变化与土壤科学相结合。当前,美国是国际上土壤科学最发达的国家,他们在高新技术、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。此外,澳大利亚采用核技术评价可持续发展中的土壤、水和养分流失问题。德国、英国、法国在土壤仪器的开发技

术等方面,也有突出进展。

我国近几年来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,植物营养(氮、磷、钾及根际),土壤水分,肥料试验,水稻土、盐渍土、红壤的发生与利用等研究方面,在一定程度上有所领先。此外,随着社会发展,在土壤数据库与质量演变、土壤环境污染特性与防治、稻田土壤氮素环境、湿地甲烷排放规律及水肥精确管理技术等研究方面,均取得明显进展,其中有的成果在这次会议上作了交流。

但另一方面,我国土壤学研究与国际相比,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、环境保护、物质循环及全球土壤变化等方面仍存在差距,在此情况下,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,土壤资源与环境等学科分支,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。

在此情况下,随着科学与国家社会经济的发展,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,土壤质量及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。所有这些,都将是国家经济发展计划中,向土壤科学研究提出的任务要求,说明我国土壤学今后的发展任务与要求十分艰巨。为此,我们必须稳步提高我国土壤科学水平,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。

3 我国今后土壤学发展的思考

3.1 必须明确土壤学研究新的战略前沿(目标与方向)

国际土壤学研究的战略前沿是“技术与信息社会”。重点集中在遥感、地理信息系统、景观分析、分

子尺度的先进分析技术、环境土壤生物学、植物/土壤界面过程、土壤过程和反馈的计算机建模、精确农业以及其他信息科学和技术的应用等方面。我国土壤学研究的前沿,应从我国的实际出发,在“技术与信息社会”总的方向上,重点应集中在以下 5 个方面:

(1) 土壤圈物质循环与能量交换(基础研究)。重点开展土壤与大气温室气体效应、土壤固定空气中碳的影响、土-肥界面土壤物质的变化与迁移、土-水界面物质迁移与演变、全球变化对土壤环境的影响、土壤物质与能量交换、土壤组分的相互作用及其对土壤肥力的影响、可变土壤特性及变化。

(2) 土壤资源与质量保护(利用管理)。重点开展土壤资源的演变与评价、土壤资源持续利用的机制与模式、土壤质量基础的调查与系统评价、不同土壤(土地)退化过程与防治、土地利用变化(城市化)的生态与环境效应、土壤基层系统分类的建立与应用、人类世中土壤变化的新趋势。

(3) 土壤环境与生态安全(环境整治)。重点开展土壤污染机制及其对土壤健康质量的影响、污染物在土壤中的转化与生物有效性及对土壤健康质量与农产品质量安全的影响、土壤污染风险评估、污染土壤的修复机理与技术、不同生态区面源污染发生机制与控制对策。

(4) 土壤景观(土壤信息)与土壤过程(宏观调控)。重点开展土壤景观与土壤时空变化、土壤的空间分布特征与演变、土壤环境敏感物质在土壤景观中的转化与迁移、土壤发生过程与区域全球变化、土壤侵蚀等退化机制与防治、土壤信息与土壤形成过程演变。

(5) 土壤生物与养分调控(农业发展)。重点开展土壤生物学过程及其机制、土壤生物基因资源发掘与利用、不同土地利用方式下土壤微生物多样性及功能、土壤生物过程对食物和环境安全的影响与调控、土壤养分平衡与合理施肥、土壤养分高效利用的生物学机制及其分子基础、农田生态系统水和生命元素的循环及耦合机制、土壤-植物-肥料相互作用过程及协调机制。

上述研究前沿只是提出了一些有关的研究项目,其具体研究内容与技术路线应结合区域发展与需求,进一步加以选择与论证。

3.1.1 必须重视研究领域的综合与交叉学科的发展

未来的土壤科学将可能是一门比现在更为复杂的综合性的学科。它的研究对象将更加广泛。它将以多学科联合研究的方式将传统学科(物理、化学等)与创新性的学科(土壤生态、土壤经济等)相互联系在一块。因此,必须强调学科研究的综合,同时应将土

壤学与地理学、生物学、生态学、环境学及社会学等不断交叉结合，拓展土壤学与其他科学之间的联系，增强土壤学解决社会实践问题的综合能力。

3.1.2 必须重视薄弱与空白土壤学科分支的建立与发展 例如，建立土壤生物（分子）学、土壤信息学、土壤数字制图学等。这些学科均是今后土壤科学研究中最必须的。例如对土壤进行时空研究，其空间尺度需涵盖从分子水平到区域规模，其时间尺度需从瞬间持续到土壤形成的上百万年。同时，一端是各种分子生物科学技术—基因、蛋白质和新陈代谢，另一端是地理空间科学—遥感、地理信息系统和地球系统科学。因此，在此情况下，只有通过土壤信息技术，将土壤科学与这些学科相互交联在一起，才能解决问题。

3.1.3 必须面向科学目标与社会需求做出明显贡献 关键的是应考虑两个“三结合”即：基础理论、技术体系与产业开发相结合；基础科学与应用技术研发，自然科学与社会科学、全球变化与土壤科学相结合。

当前除基础理论研究成果外，更需要的是技术体系的研究成果，只有这样才能更好地使科研成果转化成生产力，才能使科研成果通过产业开发，与市场经济相结合，使科研对社会产生巨大的生产与经济效益。

3.1.4 必须重视新技术与方法的创新与应用 特别是一些尖端技术与方法在土壤科学上的应用，如遥感信息技术、生物分子技术、同步辐射技术、核元素技术、特别是有关土壤-水-养分研究方面的核技术应用等，此外，有关定位监测，观测试验所需的尖端技术与设备，均必须随着土壤科学研究的发展需要而增加。

3.1.5 必须使土壤科学研究日趋国际化 今后应更加重视土壤科学研究的国际合作与对口实际交流。积极参加国际土壤学会的有关会议与活动，并积极加入担任国际土壤学会的有关组织领导职务，不断参与主持有关国际土壤学会议。此外，还应积极参与“国际地球年”与“千年发展目标”的活动，使我国土壤科学不断走向国际。