

土壤环境的生物地球化学过程、质量演变和风险管理研究展望*

骆永明

(中国科学院南京土壤研究所土壤环境与污染修复重点实验室, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

摘要 结合国内外研究现状和发展趋势分析, 提出开展土壤环境的生物地球化学过程、质量演变和风险管理研究。认为将土壤环境划分为内部、界面和外部三部分, 有助于认识土壤环境中污染物的交换与循环规律及其相互影响。强调了开展土壤环境的物理-化学-生物学-地学交叉、综合研究的必要性, 并从土壤颗粒表面-溶液、土壤-生物、土壤-植物、土壤-大气、土壤-水体等土壤环境子系统探讨了科学问题, 展望了未来研究方向, 旨在促进不同尺度土壤环境的质量变化规律与修复调控研究。

关键词 生物地球化学; 环境质量; 风险管理; 污染物循环; 土壤环境; 土壤修复

中图分类号 X821 **文献标识码** A

在需要从分子-颗粒-剖面-田块-区域-全球不同尺度开展土壤科学研究的今天, 土壤中自然源物质和人工源物质在不同尺度的界面交换和循环并由此产生的界面内、外部效应就成为深受土壤与环境科学关注的前沿课题。这种界面过程及其内、外影响启示了我们对土壤环境的新认识: 一是土壤环境的基本单元应该包括内部环境、外部环境及其界面环境; 二是土壤环境是深受土壤内部固态、液态、气态、生态物质影响的陆地表层; 三是土壤内部环境通过界面交换和多介质循环与大气、水体和地上生物(包括人)环境互相联系和相互作用, 是地球表层环境的重要组成部分, 因而在时间上具有动态可变性, 在空间上具有连续变异性。相信, 这样的认识将有助于土壤环境科学、技术和管理的研究与发展, 有利于促进我国土壤科学和环境科学的进步。

土壤内部环境通常是一个有结构支撑、有层次发育、有水分、养分和生命体并富有活力的连续体, 是地表生态系统的重要组成部分。土壤界面环境可以在土壤内部, 也可以存在于与气、水、生的连接面, 具有不同界面组合和尺度。通过界面过程, 土壤内部环境不断地在其内部或与土壤外部环境(大气、水体和生物系统)进行着物质交换和能量转换,

形成物质和能量的循环体系, 从而冲击、影响或改变着地表生态系统和人类生存环境。物质交换与循环的这种过程正是土壤环境的生物地球化学过程。正是这种过程使土壤内部环境物质和能量以不同的途径、方式和强度影响其周边大气、水体、生物质量, 也正是这种过程使土壤外部的大气、水体、生物以及人类活动直接或间接地冲击着土壤内部环境质量, 引起土壤质量的演变, 可能产生农产品质量风险、生态风险和健康风险, 制约局域、区域甚至全球范围的农业生产和生态健康。因而, 研究土壤环境生物地球化学过程、质量演变和风险管理具有自然科学和社会科学的共同属性, 将成为现代土壤科学和环境科学前沿的必然, 可为避免或遏制经济快速发展过程中土壤环境质量恶化、保障区域经济社会可持续发展提供决策依据和技术支撑。

本文结合国内外研究现状和发展趋势, 特别是近年来自身研究工作, 从土壤内部、界面和外部环境的物质交换与循环角度, 主要是从土壤颗粒表面-溶液、土壤-生物、土壤-植物、土壤-大气、土壤-水体等体系污染物的交换、转化及影响, 探讨土壤环境生物地球化学过程、质量演变和风险管理方面的若干科学问题, 旨在促进区域土壤环境质量变化规律与修复调控研究。

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810)、国家自然科学基金重点项目(40432005)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(CX1D-Z2005-4)资助

作者简介: 骆永明(1962~), 男, 浙江义乌人, 研究员, 主要从事土壤环境与污染修复研究。E-mail: ymluo@issas.ac.cn

收稿日期: 2008-06-22; 收到修改稿日期: 2008-07-10

1 土壤颗粒表面 - 溶液系统中污染物反应动力学、形态和生物有效性研究

近年来,在我国一些地区及城市群出现了土壤中重金属和有机污染物(如有机氯农药、多环芳烃、多氯联苯以及二噁英、呋喃,甚至肽酸酯和抗生素)污染、农田氮磷面源污染和土壤酸化等土壤环境问题^[1]。针对这些问题,开展了土壤污染分布与成因、迁移积累、生态效应和控制修复等方面的研究。虽然在污染现状的宏观层面上和污染生态过程的微观尺度上取得了重要研究进展,但对污染物的土壤颗粒表面、溶液和固 - 液界面的过程与机制研究甚少。分子土壤环境科学研究已成为国际性研究趋势。需要运用现代物理、化学、生物学等先进手段,在分子水平上认识土壤固相表面、溶液和固 - 液界面的污染过程与动力学机制,在纳米尺度上认识胶体组成、性状及其与污染物共迁移性,在复合体上认识有机 - 矿物质 - 微生物复合体表面 - 污染物结合机制及其与表面性质的关系,在复合障碍上认识污染物及其中间产物间的相互作用和土壤污染与土壤酸化、盐渍化的互馈关系。同时,需要发展原位技术和模型方法(例如土壤生物配体模型^[2]),支持污染物的反应动力学、形态、生物有效性及生态毒性的研究。也需要突出土壤类型及其组成、性质和条件,比较研究污染土壤环境的生物地球化学过程与质量变化机制。

2 土壤 - 生物系统中污染生态过程、生态毒理与生态风险研究

近年来,地下污染生态过程的研究越来越受到重视,低剂量暴露和复合污染的生物效应研究成为当前研究的前沿和热点。Copley在《Nature》杂志上明确指出生态学正走向地下,如果忽视了土壤环境中生物多样性及其生态功能研究,这是令人担忧的^[3]。2002年在《Science》杂志上报道了阿特拉津在 $0.01 \mu\text{g kg}^{-1}$ 的暴露剂量下,导致了非洲爪蛙的性别改变^[4]。Whicker等在《Science》上建议开展基于生态毒理诊断的污染土壤风险评估研究,并用来指导修复^[5]。目前已经开展了土壤中生物个体水平上的有毒物质剂量 - 效应关系、污染对微生物群落结构、生物多样性影响的研究^[6]。但是国内外尚未系统研究土壤中污染生态过程,尚未建立污染土

壤生态系统健康的诊断原理与方法。需要研究重金属、有机污染物单一和复合污染下不同土壤生态系统中微生物、动物致毒机理,阐明污染物的地下食物网传递过程和生物响应机制,建立土壤污染的生物生态诊断指标、早期预警系统和生态风险评估方法。

3 土壤 - 植物系统中污染过程、相互作用机制与调控原理研究

重金属、农药和持久性有机污染物是农业土壤环境和农产品中的重要污染物。近20年来,国内外对土壤中重金属、农药和持久性有机污染物的环境化学行为、根土界面的迁移转化和交互作用、作物耐性与积累以及植物根系分泌物的鉴定、特性及其与重金属耐性、运输、积累关系等方面开展了许多研究,取得了显著进展。但是,植物对土壤重金属等污染物吸收和积累过程机制的认识仍然停留在经验迁移模型,对根际效应影响污染移动性和植物吸收积累作用过程及分子机制知之甚少,对根际土壤中污染物与微生物、动物的相互作用机制特别是根际化学和生物学过程耦合机制的认识更为缺乏。围绕根际开展土壤 - 植物界面过程的分子机制研究正成为国际上的一个研究趋势。

土壤 - 植物系统中污染物之间相互作用及其生物毒效应往往与系统内无机营养元素(如硫、磷、氮)的存在方式有关。了解根际土壤中重金属与营养元素相互作用可以作为调控重金属在土壤 - 植物系统中的迁移、转化及其生态毒理效应的重要基础,并且可以通过各种先进技术如光谱技术表征它们在土壤、生物体表面和组织细胞内的赋存形态,在分子水平上认识污染物相互作用的微观机理,可为发展土壤复合污染控制技术提供理论依据。近年来,国际上对土壤 - 植物系统中重金属污染物的相互作用研究已趋向于植物离子组学方向发展^[7,8]。主要利用现代高通量元素分析仪器,结合生物信息学和功能基因组学等手段研究,揭示植物吸收积累养分和重金属元素的遗传与分子生物学机制。结合现代研究技术和手段(如同步辐射技术),使在微尺度下研究污染重金属元素间与非污染元素相互作用关系、生物毒性及其分子生物学机理成为可能。开展污染物之间及其与无机营养元素之间的相互作用机制研究将是土壤 - 植物系统复合污染形成过程机制与调控研究的重点,可为复合污染土壤修复和农产品安全生产原理建立提供

科学依据和技术原理。

4 土壤 - 大气污染物交换及其对土壤、水体生态系统影响研究

污染物的生物地球化学过程对区域大气和土壤环境质量演变有重要影响。地气物质交换是地球表层系统污染物生物地球化学循环过程的重要研究内容^[9]。经济快速发展和高强度人为活动使得区域大气环境中 NO_x排放激增,重金属(如 Hg、Pb)、持久性有机污染物(POPs)和臭氧污染严重。近年来,国内外在氮氧化物和氨气的地气交换通量及其影响因素、有机污染物的干湿沉降通量、土壤 - 大气界面迁移模型及其在土壤 - 作物系统中转移分配规律、植物的挥发性有机物排放量、大气臭氧对陆地生态系统的影响、农作物减产和森林生产力损失等方面的研究取得了重要进展^[10-14]。但是,在污染物的区域地气交换研究中存在污染物和陆地生态系统单一、观测点位少、界面过程不清、生态影响机理不明等问题,从而难以估算区域尺度的交换通量。迄今,对含氮化合物、重金属、有机污染物地 - 气界面交换过程、通量及对陆地生态系统影响及其机制还缺乏认识,影响了区域土壤、大气以及水环境质量宏观调控策略的科学制定。因而,需要长期原位试验、观测和科学计算,深入了解陆地生态系统重要痕量气体和污染物的生物地球化学循环过程,阐明地 - 气交换对农田和森林生态系统的影响机制,确定临界负荷,评估其危害性。

5 土壤 - 水体界面氮磷污染物传输过程与面源污染调控研究

氮磷等营养元素对环境与农产品品质的影响研究一直是农业和环境科学关注的领域。国内外针对不同土地利用方式、不同下垫面状态下的氮磷流失特征做了大量研究,明确了主要形态氮磷的流失过程和趋势,提出以“最佳管理措施”(BMP)为核心的农田氮磷污染治理与控制技术^[15],建立了各类施肥和农业生产标准规范^[16],研制了基于 WebGIS的防治农业面源污染的决策咨询系统,为防治农田土壤氮磷面源污染的管理、规划、决策和控制提供咨询服务,为智能化控制土壤面源污染打下基础^[17]。综合减排是农田土壤氮磷污染机理与调控研究发展的新趋势。虽然在区

域农田土壤氮磷流失对水环境质量影响及控制上取得了明显进展,但是仍然需要以数字化、模型化、实时化的现代信息技术为基础,明确特定区域尺度内的氮磷流失强度、通量及其时空变异规律;需要研究高强度农作系统土壤氮磷的内循环机制,以探明多级原位截流和生态拦截净化作用,并提出进一步削减农田养分径流输出负荷的调控原理。

对农业土壤中氮磷面源污染发生、传输及内在响应关系的研究已成为当前世界性关注“生态稳定与安全”的焦点。2008年发表在《Nature》杂志上的文章指出在高强度人类活动下,土壤碳、氮、磷要素正以“齿轮模式”相互促进、推动其向水体和大气环境的迁移转化^[18]。对于高度集约农作系统的土壤氮磷传输过程以及与大气、水体之间界面交换通量需要从点到面多尺度进行延续性、拓展性研究,需要科学估算区域尺度上农田氮磷在土壤 - 水体 - 大气多界面上的排放与沉降通量,为科学制定区域土壤、大气以及水环境质量宏观调控策略提供基础数据。

6 污染土壤的植物修复、微生物修复和联合强化修复的基础研究

风险削减策略和污染净化策略是污染土壤修复的两大主要策略^[19]。目前除了基于物理化学固定、植物根际阻留作用的稳定修复和低积累作物筛选等风险削减策略与技术途径得到广泛研究外,利用超积累植物净化重金属污染土壤的绿色修复已引起广泛的兴趣和重视,甚至得到了实际应用。近年来,国际上对植物超积累重金属的生理和分子机制开展了研究,在植物超积累砷、镍、锌等机制与修复作用方面取得了突破,在《Nature》和《Science》上发表了数篇论文。我国也已陆续鉴定出了原生的砷、镉、铅等重金属超积累植物,对植物积累或超积累重金属生理机制及其在污染土壤修复中应用的研究取得了重要进展。但是,国内外对植物超积累重金属的根际界面过程、耐性机理、分子遗传机制及其主控因子的了解甚微,尚未建立污染土壤修复后的生态效应评价方法。深入研究超积累植物修复机理可为污染土壤的绿色修复和农产品安全生产提供技术原理。

农药和持久性有机污染土壤的生物修复已成为国际土壤环境前沿领域的研究重点。原位微生

物修复、植物-微生物联合根际修复以及修复过程中间产物追踪与影响评价方法等基础研究,已成为有机污染土壤生物修复中的研究热点^[20,21];基于根系-微生物-土壤表面特性耦合作用的有机污染土壤生态修复调控理论正在发展。

7 区域土壤环境质量演变预测与风险管理研究

高强度人类活动下区域环境质量变化预测与风险管理是当今环境科学和区域可持续发展研究的重要科学问题。国际上基于环境质量的风险管理体系正在不断发展和完善。20世纪80年代末,世界经济合作与发展组织提出了压力-状态-响应框架(PSR)模型;1996年联合国在此基础上提出了驱动力-状态-响应框架(DSR);2000年欧盟环境署在综合前两者优点的基础上,提出了驱动力-压力-状态-影响-响应体系(DPSIR)的区域土壤环境管理模型,用于预测经济社会发展过程中区域环境质量变化趋势^[22]。模型中的“状态”部分就是要了解区域土壤环境质量现状及其变化趋势,而对其影响的研究和采取的响应措施则是风险管理的重要内容。在土壤环境污染的风险管理方面,美国、英国、荷兰等一些发达国家已经开展了相当长时间的研究,奠定了方法学基础和积累了丰富经验。这些国家均先后开发了多个具有污染土壤风险评估功能的信息系统或系统模块,例如美国的RAIS系统、英国的CLEA模型和荷兰的CSOL模型等,并基于这些风险评估模型制定了全国范围的土壤环境基准和污染土壤的修复决策支持系统^[23]。在我国,这方面研究处于刚刚起步阶段。

随着预警技术的发展和土壤环境安全的重视,人们将预警技术引入土壤和大气环境安全研究中。但是,土壤环境安全及安全预警研究相对其他(如大气、水和生态)环境安全及安全预警研究要晚的多。目前,国内外对土壤环境安全预警的研究尚处于探索阶段^[24],主要集中在土壤环境各单项质量指标的预测预警研究,这不能很好地反映区域土壤环境安全的变化。因此,需要研究能够全面、准确、及时地对多种土壤环境问题进行预测预警的体系;需要着手研究如何利用现代信息技术,借助其具有强大的数据管理、空间分析和决策支持等功能,为土壤环境管理提供决策支持系统;需要建立区域土壤环境质量数据库、评价模块以及经济社会与环境

变化预测预警模块,形成能将土壤环境管理决策支持系统,以及能与大气、水体模块整合的综合决策支持管理系统,应用于区域环境管理决策支持,这还有待进一步研究和完善。

8 结束语

在21世纪的地表人文环境,土壤中的污染物质不仅来自化肥、农药、地膜和灌溉等地面的农业活动过程,而且也来自工业、交通等排放通过空中大气传输沉降过程。因而,认识土壤污染过程已经不能简单地研究土壤内部过程,而且需要研究土壤界面过程以及土-气-水-生相互作用和相互驱动的过程,需要从物理-化学-生物-地学耦合的生物地球化学迁移、交换、转化和循环过程来研究,需要从时空尺度上来了解污染物的动力学过程及其区域间差异,还需要从宏微相结合地认识这些过程的内在机制与长期效应。只有交叉、综合地研究土壤内部、界面和外部环境的生物地球化学循环过程,才能揭示高强度人类活动下土壤环境质量的演变规律,实现风险管理,保护土壤质量、农产品质量和生态系统健康。

区域的可持续发展有赖于土壤环境科学基础研究的不断进步,正如2006年第18届世界土壤学大会提出的宗旨“满足社会需求的土壤科学发展”。目前,国际土壤科学的研究重心正转向环境应用,指导土壤环境净化、保护土壤功能、削减污染风险;从微观层面的分子土壤环境学、生物科学等基础研究到宏观层面的集成化的地球系统科学和圈层理论研究;与信息技术相结合,发展大尺度土壤环境质量动态监测与数值模拟,建立土壤环境污染控制和修复技术。2004年《Science》杂志出版了一期土壤学研究专辑,指出土壤学的发展已使人们改变了原有的“暗箱”体系认识,将会成为“最后的科学前沿”^[25]。

参考文献

- [1] 骆永明. 土壤环境复合障碍与农产品质量及生态健康. 见: 中国土壤学会编. 中国土壤科学的现状与展望. 南京: 河海大学出版社, 2007. 257~261. Luo Y M. The combination problems of soil environment in relation to agro-product quality and ecological health. In: Soil Science Society of China ed. Status and Perspectives of Soil Science in China (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 2007. 257~261
- [2] Thakali S, Allen H E, Di Toro D M, *et al*. Terrestrial biotic lig-

- and model 2. Application to Ni and Cu toxicity to plants, invertebrates, and microbes in soil. *Environ. Sci. Technol.*, 2006, 40(22): 7 094 ~ 7 100
- [3] Copley J. Ecology goes underground. *Nature*, 2000, 406: 452 ~ 454
- [4] Withgott J. Amphibian decline: Ubiquitous herbicide emasculates frogs. *Science*, 2002, 296: 447 ~ 448
- [5] Whicker F W, Hinton T G, MacDonell M M, *et al*. Avoiding destructive remediation at DOE sites. *Science*, 2004, 303(5 664): 1 615 ~ 1 616
- [6] 章海波, 骆永明, 李志博, 等. 土壤环境质量指导值与标准研究. 污染土壤的生态风险评估. *土壤学报*, 2007, 44(2): 338 ~ 349. Zhang H B, Luo Y M, Li Z B, *et al*. Study on soil quality guidelines and standards. Ecological risk assessment of polluted soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 338 ~ 349
- [7] Salt D E. Update on plant ionomics. *Plant Physiology*, 2004, 136: 2 451 ~ 2 456
- [8] Baxter I, Ouzzani M, Orcun S, *et al*. Purdue ionomics information management system. An integrated functional genomics platform. *Plant Physiology*, 2007, 143: 600 ~ 611
- [9] 周秀骥. 长江三角洲低层大气与生态系统相互作用研究. 北京: 气象出版社, 2004. Zhou X J. The Interaction between the Atmosphere and Ecosystems in Yangtze Delta Region (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2004
- [10] Ludwig J, Meixner F X, Vogel B, *et al*. Soil-air exchange of nitric oxide: An overview of processes, environmental factors, and modeling studies. *Biogeochemistry*, 2001, 52: 225 ~ 257
- [11] Li D J, Wang X M, Mo J M, *et al*. Soil nitric oxide emissions from two subtropical humid forests in south China. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 2007, 112, D23302, doi: 10.1029/2007JD008680
- [12] Li D J, Wang X M. Nitrogen isotopic signature of soil-released nitric oxide (NO) after fertilizer application. *Atmospheric Environment*, 2008, doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.01.042
- [13] Liu J G, Diamond J. China's environment in a globalizing world. *Nature*, 2005, 435: 1 179 ~ 1 186
- [14] Loya W M, Pregitzer K S, Karberg N J, *et al*. Reduction of soil carbon formation by tropospheric ozone under elevated carbon dioxide. *Nature*, 2003, 435: 705 ~ 707
- [15] McIsaac G F, David M B, Gertner G Z, *et al*. Eutrophication-Nitrate flux in the Mississippi River. *Nature*, 2001, 414(6 860): 166 ~ 167
- [16] Dougherty W J, Fleming N K, Cox J W, *et al*. Phosphorus transfer in surface runoff from intensive pasture systems at various scales: A review. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(6): 1 973 ~ 1 988
- [17] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势及控制对策. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计; . 欧美国家农业面源污染状况及控制; . 中国农业面源污染控制中存在问题分析. *中国农业科学*, 2004, 37(7): 1 008 ~ 1 033. Zhang W L, Wu S X, Ji H J, *et al*. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century; . Status of agricultural non-point source pollution and the alleviating strategies in European and American countries; . A review of policies and practices for agricultural non-point source pollution control in China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1 008 ~ 1 033
- [18] Gruber N, Galloway J N. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 2008, 451(17): 293 ~ 296
- [19] 骆永明. 土壤修复学——土壤科学和环境科学的新兴学科. 见: 浙江大学《纪念朱祖祥院士诞辰 90周年文集》编辑委员会编. 纪念朱祖祥院士诞辰 90周年文集. 北京: 科学出版社, 2006. 201 ~ 208. Luo Y M. Soil remediation—A new branch discipline in soil science and environmental science. In: A Collection Commemorating the 90th Anniversary of Academician Zhu Zuxiang's Birth (In Chinese). Beijing: Science Press, 2006. 201 ~ 208
- [20] 孙铁珩, 等. 污染生态学. 北京: 科学出版社, 2001. Sun T H, *et al*. Pollution Ecology (In Chinese). Beijing: Science Press, 2001
- [21] 滕应, 骆永明, 李振高. 污染土壤的微生物修复原理与技术进展. *土壤*, 2007, 39(4): 497 ~ 502. Teng Y, Luo Y M, Li Z G. Principles and technologies for microbial remediation of polluted soils (In Chinese). *Soils*, 2007, 39(4): 497 ~ 502
- [22] 骆永明, 郑茂坤, 赵其国, 等. DPSIR体系及其在土壤圈环境管理中的意义. *土壤*, 2006, 38(5): 657 ~ 661. Luo Y M, Zheng M K, Zhao Q G, *et al*. DPSIR system and its significance in pedosphere environmental management (In Chinese). *Soils*, 2006, 38(5): 657 ~ 661
- [23] 李志博, 骆永明, 宋静, 等. 土壤环境质量指导值与标准研究. 污染土壤的健康风险评估. *土壤学报*, 2006, 43(1): 142 ~ 151. Li Z B, Luo Y M, Song J, *et al*. Study on soil environmental quality guidelines and standards. Health risk assessment of polluted soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(1): 142 ~ 151
- [24] Wu C F, Wu J P, Luo Y M, *et al*. Statistical and geostatistical characterization of heavy metal concentrations a contaminated area taking into account soil map units. *Geodema*, 2008, 144: 171 ~ 179
- [25] Sugden A, Stone R, Ash C. Ecology in the underworld. *Science*, 2004, 304(5 677): 1 613

PROSPECTS OF THE RESEARCH ON BIOGEOCHEMICAL PROCESSES, QUALITY EVOLVEMENT AND RISK MANAGEMENT OF SOIL ENVIRONMENT

Luo Yongming

(Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Based on analysis of the status quo and developmental trend of the study on soil environment at home and abroad, the author suggests in this paper initiation of research on biogeochemical processes, quality evolution and risk management of soil environment. The author holds that the assumption of soil environment consisting of three parts, internal, interfacial and external ones, is helpful for better understanding of processes, cycling and interaction of pollutants in the soil environment. The author also emphasizes necessity of developing integrated interdisciplinary (physio-chem-bio-geoscience) research of soil environment, and discusses potential subjects and prospects of the research from the aspects of the subsystems of soil particle surface-liquid, soil-microorganisms, soil-plant, soil-air, and soil-water in the environment, aiming at promoting the study on evolution rules, regulation and remediation of soil environmental quality on different scales.

Key words Biogeochemistry; Environmental quality; Risk management; Pollutant cycling; Soil environment; Soil remediation