



地球关键带过程与水土资源可持续利用的机理

张甘霖^{1,4*}, 朱永官^{2,4}, 邵明安^{3,4}

1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008;
2. 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;
4. 中国科学院大学, 北京 100049

* E-mail: glzhang@issas.ac.cn

收稿日期: 2019-04-26; 收修改稿日期: 2019-05-08; 接受日期: 2019-05-13; 网络版发表日期: 2019-06-03

国家自然科学基金项目(批准号: 41571130051、41877010)资助

水土资源是人类生存和发展的基础。理解区域水土资源现状、演变机理是实现有效调控和可持续利用的前提。中国是受水土资源严重制约的国家, 由于受到气候、地形等自然成土因素所决定的土壤形成过程的控制, 加之利用历史、利用强度、管理水平等的差异, 区域水土资源禀赋与安全水平差异明显。

作为地表系统——水、土、气、生、岩——的核心构成, 水的循环和土壤的形成演变过程必然会受到系统各要素之间相互作用的影响, 从而影响水、土资源质量和安全。为了深入理解这一复杂开放系统, 需要从整体上深入研究地表系统各要素间的相互作用。2001年美国国家研究理事会在《地球科学基础研究机遇》中提出的地球关键带概念为研究上述问题提供了新的理念(NRC, 2001)。地球关键带是指植物冠层顶端至地下水底部的垂直连续体域(NRC, 2001), 涵盖了地表系统水、土、气、生、岩各要素, 囊括了人类活动通常所能影响到的所有区域, 并为人类乃至所有生命生存和发展提供了所需的生态系统服务功能。可以说, 地球关键带为地球表层系统研究提供了可操作的对象, 使地表系统研究有了明确和清晰的三维空间, 为多学科综合研究奠定了基础。

关键带科学作为21世纪地球科学基础研究的前沿, 从系统和跨学科的视角, 为研究水土资源与地表系统各要素间的相互作用提供了新的思路(NRC, 2001)。关键带观测站作为大自然的实验室, 通过系统观测和模拟, 为理解和预测自然和人为作用下关键带中水、土资源的历史、现状和未来提供了研究平台。随着人为活动的增强, 水、土自然演变过程被明显改造, 水、土资源可持续利用面临严峻挑战。采用关键带科学的研究思路, 为寻求系统的解决方案开辟了新的途径。地表系统中土壤的形成演化、水资源的形成和水质, 都与关键带中要素相互作用特别是生物和非生物过程之间的相互作用有关, 比如土壤形成与侵蚀共同影响了土壤资源的可持续利用, 两个过程的速率相对大小决定了土壤厚度的变化。因此, 仅了解土壤形成或侵蚀的一个方面, 难以全面明晰土壤资源的可持续性。而关键带科学则从系统科学的角度理解土壤与岩石、生物、水、大气等要素的相互作用, 基于土壤形成和侵蚀的动态平衡来理解维持土壤资源的可持续利用机理。又如水的消耗与植被生长将植物、大气、水、土壤等要素联系在一起, 各要素的相互作用影响了水资源的形成和分布以及植物的分布、多样性和生产力等, 深入理解水资源消耗与植被生长的关系需要从系统科学的角度将植物-水-大气-土壤作为一个整体。同样, 生物地球化学循

中文引用格式: 张甘霖, 朱永官, 邵明安. 2019. 地球关键带过程与水土资源可持续利用的机理. 中国科学: 地球科学, 49: 1945–1947, doi: 10.1360/SSTe-2019-0090

英文引用格式: Zhang G, Zhu Y, Shao M. 2019. Understanding sustainability of soil and water resources in a critical zone perspective. Science China Earth Sciences, 62: 1716–1718, <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9368-7>

环过程如氮素循环,与降水入渗、地表径流、土壤水运动、植物水利用、地下水迁移等水文过程密切相关,而水文过程驱动的氮素等物质的迁移使得其在不同要素界面之间进行物质交换和分配,仅关注地表或地下迁移难以全面阐释氮素等物质循环的全过程,也难以准确预知氮素损失对水资源质量的影响。

自2007年美国建立了首批3个关键带观测站以来,至2015年全球已相继建立约64个关键带观测站(Giardino和Houser, 2015)。2017年美国发布了关键带科学研究白皮书,系统总结了十年来取得的成就,并梳理了未来十年亟待解决的科学问题(Sullivan等, 2017)。2015年国家自然科学基金委员会与英国自然环境研究理事会(NERC)在“地球关键带中水和土壤的生态服务功能维持机理研究(using critical zone science to understand sustaining the ecosystem service of soil and water)”领域共同资助了重大国际合作研究计划项目,旨在理解水土资源的可持续性、演变的动态过程和时间尺度及生态系统服务功能。该项目针对水土资源问题突出的喀斯特地区、黄土高原、南方红壤丘陵区及迅速改变中的城郊地区,依托中国生态系统研究网络,正式开启了关键带科学研究。本专题收录了该项目资助下完成的4篇研究论文,分别从岩石-土壤-植物相互作用、植物生态水文、土壤利用与养分迁移、界面过程与铁-碳耦合等不同侧面,阐述了关键带中水、土、气、生、岩的相互作用关系,对深入理解中国西南喀斯特区和南方红壤丘陵区岩石风化对土壤和植被的控制、植被影响下的水循环、人为影响下的养分迁移、微生物介导的土壤关键元素转化和迁移过程提供了新的认知。

中国西南喀斯特区人地矛盾突出,土壤流失和石漠化严重,生态系统脆弱,严重制约区域经济可持续发展,植被恢复成为该区域石漠化治理的关键途径。为了理解石漠化植被恢复的机理,刘鸿雁等(2019)通过野外调查和遥感数据解译相结合的方法研究了岩性和土壤条件对地表植被组成和覆盖的影响,发现白云岩裂隙不发育,土壤浅薄,适合浅根系草本植物生长;而石灰岩裂隙发育,土壤沿裂隙分布深,植被组成和结构复杂。本研究认为喀斯特区石漠化治理需考虑关键带中岩石-土壤-植被的相互作用,提出了不同岩性的植被恢复措施应存在差异的观点。Zhang等(2019)聚焦中国西南喀斯特区水-植被-大气相互作用,研究了典型落叶阔叶树种植被蒸腾和气象参数之间时间滞后控制因子的时间动态变化。该研究结果增进了对该区植被水分消耗策略的认识,增强了对气候变化情境下植被适应机制的理解。

中国南方红壤丘陵区在自然以及高强度人为作用下,土壤面临侵蚀、酸化、贫瘠、板结等诸多退化问题,随着化肥等投入的增加,氮素经过径流和入渗过程影响地表水和地下水质量,威胁区域水土资源安全。水循环是物质迁移和转化的重要驱动力,汪亚及等(2019)以亚热带典型红壤区孙家小流域为对象,通过流域降水、土壤水、地下水及径流的系统观测,借助端元混合模型,研究了径流组分对氮素流失时间动态变化的影响。发现该流域径流中总氮年净流失量相当于当年总氮肥投入的15%,地下径流是农田小流域氮素流失的重要途径,约占总流失量的25%。本研究对提高红壤区农田小流域水肥管理水平,管控地表水富营养化有重要价值。铁是红壤中最为核心的元素之一,铁循环耦合碳氮转化是红壤性水稻土中关键的生物地球化学过程。李晓敏等(2019)借助室内微宇宙模拟实验、碳同位素标记及高通量测序等手段,研究了红壤区水稻土中性微好氧亚铁氧化耦合碳同化的过程,发现多种微生物类群可能具有潜在的中性微好氧亚铁氧化功能。本研究为红壤区水稻土中铁-碳耦合转化过程研究提供了新的视角。

本专题在理解中国典型地区土、水资源可持续利用机理方面取得了一定的进展。中国地球关键带科学未来需要在以下几个方面加强研究:一是创新和完善关键带观测。可以依托现有的国家级野外观测台站,重点针对中国的生态脆弱区、水资源短缺和过度利用区、高强度人为活动区、土壤退化严重地区等,进一步规范关键带观测,发挥多学科优势,创新关键带观测网络的理论、方法和技术,提升水、土、气、生、岩全要素、多尺度、动态观测的能力。二是加强关键带结构、过程与功能的关系研究,深入理解关键带结构与构造、气候及人为过程的互馈关系,及其对关键带服务功能的调控机制。三是发展关键带科学综合模型,基于系统观测数据,预测关键带演变的趋势,评估关键带服务功能的可持续性,提高对水、土资源可持续利用和管理的水平。四是增强国内外关键带观测网络的协作研究,研讨数据共享机制,在着重满足国家需求的同时,服务“一带一路”沿线国家水土资源可持续发展。

参考文献

- 李晓敏, 牟山, 陈娅婷, 刘同旭, 董军, 李芳柏. 2019. 稻田土壤微生物驱动的微好氧亚铁氧化耦合碳同化过程. 中国科学: [地球科学](#), 49: 1948–1959
- 刘鸿雁, 蒋子涵, 戴景钰, 吴秀臣, 彭建, 王红亚, Meersmans J, Green S M, Quine T A. 2019. 岩石裂隙决定喀斯特关键带地表木本与草本植物覆盖. 中国科学: [地球科学](#), 49: 1974–1981
- 汪亚及, 高磊, 彭新华. 2019. 红壤农田小流域径流组分对氮素流失动态的影响. 中国科学: [地球科学](#), 49: 1960–1973
- Giardino J R, Houser C. 2015. Principles and dynamics of the critical zone. In: Shroder Jr J F, ed. *Developments in Earth Surface Processes*, Volume 19. Amsterdam: Elsevier. 1–649
- National Research Council (NRC). 2001. *Basic Research Opportunities in Earth Science*. Washington D C: National Academy Press
- Sullivan P L, Wymore A S, McDowell W H, Aarons S, Aciego S, Anders A M, Anderson S, Aronson E, Arvin L, Bales R, Berhe A, Billings S, Brantley S, Brooks P, Carey C, Chorover J, Comas X, Covington M, Dere A, Derry L, Dietrich W, Druhan J, Fryar A, Giesbrecht I, Groffman P, Hall S, Harman C, Hart S, Hayes J, Herndon E, Hirmas D, Karwan D, Kinsman-Costello L, Kumar P, Li L, Lohse K, Ma L, Macpherson G, Marshall J, Martin J, Miller A, Moore J, Papnicolauo T, Prado B, Reisinger A, Richter D, Riebe C, Rempe D, Ward A, Ward D, West N, Welty C, White T, Yang W. 2017. *New Opportunities for Critical Zone Science*. 2017 CZO Arlington Meeting White Booklet
- Zhang R, Xu X, Liu M, Zhang Y, Xu C, Yi R, Luo W, Soulsby C. 2019. Hysteresis in sap flow and its controlling mechanisms for a deciduous broad-leaved tree species in a humid karst region. [Sci China Earth Sci](#), 62: 1744–1755

(责任编辑: 陈利顶)