

DOI: 10.5846/stxb201610162090

吕一河, 高光耀, 罗毅, 焦菊英, 邵明安. 黄土高原区域生态综合研究: 机理深化与方法拓展. 生态学报, 2016, 36(22): - .

Lü Y H, Gao G Y, Luo Y, Jiao J Y, Shao M A. Integrated regional ecological research on the Loess Plateau: advancing the scientific understanding and methodological tools. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): - .

黄土高原区域生态综合研究: 机理深化与方法拓展

吕一河^{1,*}, 高光耀¹, 罗毅², 焦菊英³, 邵明安²

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室

2 中国科学院地理科学与资源研究所

3 西北农林科技大学

摘要: 黄土高原是我国生态环境最为脆弱的地区之一, 同时也是我国大规模生态恢复的重点区域。经过数十年的治理, 黄土高原生态环境得到显著改善, 但一系列新的环境问题也随之出现, 使得该区域大规模生态修复与治理的可持续发展成为当前的研究热点。为了对黄土高原生态系统演变规律和维持机制进行综合分析, 根据“十三五”国家重点研发计划《典型脆弱生态修复与保护研究专项指南》的要求, 中国科学院生态环境研究中心牵头共 10 家单位联合申报了“黄土高原区域生态系统演变规律和维持机制研究”项目, 通过了专业机构组织的评审, 获准立项。本文对该项目的立项背景、总体目标、主要内容、研究方案等进行了介绍。该项目的开展将对黄土高原生态修复的适宜性和可持续发展提供重要政策与决策支持。

关键词: 土地覆被变化; 水土资源与效应; 生态系统承载力; 生态功能; 动态模拟; 黄土高原

Integrated regional ecological research on the Loess Plateau: advancing the scientific understanding and methodological tools

LÜ Yihe^{1,*}, GAO Guangyao¹, LUO Yi², JIAO Juying³, SHAO Ming'an²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environment Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract: The Loess Plateau is one of the most ecologically vulnerable regions in China. Meanwhile, it is also the pilot region in the large-scale ecological restoration of China. After decades of restoration, the ecological environment in the Loess Plateau has got significant improvement. However, new ecological problems occurred in this region simultaneously, making the sustainable development of large-scale ecological restoration and management becoming an attractive research topic. Research Center for Eco-Environment Sciences of the Chinese Academy of Sciences collaborated with 9 other institutions for the proposal of the project entitled "Research on the mechanisms of regional ecosystems change and sustainability in the Loess Plateau region" according to the Guideline for the National Key Research and Development Program on Typical Ecological Restoration and Conservation Research issued in February 2016. Finally the proposal got approval and financial support after national level competitive evaluation process. The research background, research objectives, main contents, and working plan were introduced in this paper. This research project may provide important policy and decision support for the sustainable development of the Loess Plateau region.

Key Words: land cover change; Water and soil resources and effects; ecosystem carrying capacity; ecological functioning;

基金项目: 国家十三五“典型脆弱生态修复与保护研究”重点专项项目资助(2016YFC0501600)

收稿日期: 2016-10-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyh@rcees.ac.cn

dynamic modeling; Loess Plateau

实现生态系统健康发展并维持其服务的可持续提供,是人类生存和发展的重大现实需求。科学评估不同尺度生态系统和特征参量变化并建立宏观尺度生态系统研究数据集是满足上述需求的重要基础,而生态-水文-土壤耦合作用机制则是其核心科学问题。

生态系统与水文相互作用是国际生态学与水文学交叉研究领域的新兴方向,1980年代以来在微观机理、宏观格局、格局与过程耦合、历史演变与未来趋势预测等多层次、多维度上迅速发展^[1]。土壤侵蚀导致生态系统退化与生产力降低、且侵蚀过程中泥沙与养分的输移引发了跨时空尺度的生态环境问题,因而受到广泛关注。土壤侵蚀控制与泥沙拦蓄是对人类福祉与发展有重要贡献的陆地生态系统关键服务^[2]。植被生态修复在控制土壤侵蚀、提升生态系统及其服务功能的持续稳定等方面,发挥了重要作用^[2-3]。目前在生态系统-水文-土壤作用关系方面取得了丰富的研究进展,但是对其耦合作用机制的认识仍然不足,特别是受植被多样性、土壤变异性、跨尺度复杂性等因素的影响,生态系统与水文、土壤耦合机制已逐渐成为科学研究的前沿和难题。气候变化、人口及经济迅速增长导致资源环境压力加剧,对生态-水文-土壤关系的认识和生态系统服务功能提升提出了更高的要求。

实验观测和数值模拟、短期响应与长期演变趋势、微观过程机理与宏观格局演变相结合开展研究,是生态系统变化及其水土效应研究思想方法和技术路径的发展方向。无论是在微观还是宏观尺度上,数学模型在模拟气候-生态-土壤-水资源相互作用过程、预测人类活动和气候变化影响下的生态系统长期演变趋势等多方面发挥无可替代的作用,并向综合性、机理性和更高的可靠性方向发展。遥感技术日益成为区域尺度上动态监测生态系统变化的技术手段和数据来源^[4-6]。自1990年代以来,在IGBP、IHDP等重大国际研究计划的推动下,遥感传感器时空分辨率大幅度提升^[7-8],满足不断提高的生态系统变化数据需求,促进了生态学、水文学、土地利用/覆被变化及宏观尺度植被-土壤-水等圈层间相互作用的定量研究。

黄土高原处于半湿润-半干旱地区,生态系统脆弱,水土资源问题突出。过去50余年来,从开荒种地满足粮食需求,产生大面积严重的水土流失,到1990年代末期开始实施“退耕还林还草”等大范围系列水土保持与生态建设政策与工程措施,区域土地利用/覆被发生了显著变化^[9],导致黄河水沙锐减、土壤水分呈区域性干燥化、人工林系统退化等问题^[10-13],而人类活动对这些变化起主导作用^[14],但深层科学机理尚不明确,在区域生态修复的可持续性方面仍然存在争议^[15-16]。

综上所述,人类活动和气候变化背景下区域生态系统演变规律、水土资源效应和承载力的多尺度过程机理和综合评价是目前国际前沿领域,而黄土高原是研究该问题的理想场所。同时,在耕作为主的强烈人类活动胁迫向大规模生态修复转变的背景下,黄土高原区域生态系统时空变化及其水土资源和生态效应与可持续发展的承载力方面的研究也亟待进一步深化。因此,黄土高原区域生态综合研究应以生态系统为切入点,开展如下工作:(1)揭示生态系统与水土资源耦合作用关系以及生态修复措施对生态系统结构功能的影响机制;(2)研究区域气候-植被-水土资源之间的作用关系和生态系统承载力及其阈值,提出分区、分类的脆弱生态系统修复和调控途径;(3)发展生态-水土资源-生态系统承载力模型,提供预测手段和管理决策的支持工具。

1 黄土高原区域生态综合研究的立项背景

黄土高原处于半湿润-半干旱地区,降水和植被类型存在明显的地带性分布规律。地形、土壤、气候、植被和人类活动等因素的综合作用使得该区域生态系统脆弱,水土资源问题突出,是我国水土流失最严重和生态环境最为脆弱的地区之一^[17]。近60余年来,党和国家高度重视黄土高原的发展、治理与生态建设。早期强调发展生产和根治黄河水患相结合。20世纪80年代,黄土高原先后实施了以小流域为基本单元的水土流失综合治理和“三北”防护林建设工程。1999年,国家启动了退耕还林(草)和天然林保护工程,黄土高原是退耕还林(草)工程的试验示范区。大规模生态恢复与重建明显改善了黄土高

原的生态环境,植被覆盖指数显著提高,入黄泥沙大幅度减少。据统计,黄土高原是 2000 年以来我国植被覆盖度增加最显著的区域^[18],2000—2014 年区内植被覆盖显著增加面积占到 51.97%(图 1),年均输沙量由上世纪 70 年代前的 16 亿吨锐减到近 10 年的 3.1 亿吨^[14]。一方面,生态修复使得生态系统水循环、土壤侵蚀方式和过程发生改变,如何揭示新时期的演变机理、模拟侵蚀和水资源效应是黄土高原生态恢复与重建急需解决的科学问题。另一方面,黄土高原治理成效已取得共识,但受生态环境本底脆弱、人类干扰强烈和气候变化等因素制约,恢复与治理的过程中又产生了新的环境问题,如土壤的干燥化、人工植被衰败、滑塌风险提升、淤地坝拦沙效益锐减等^[10-13],如何促进黄土高原大规模生态修复与治理的可持续发展就成为当前亟待解决的重大现

实需求问题。

基于上述背景,黄土高原生态系统结构改善及稳定性维持技术研究被列入了“十三五”国家重点研发计划“典型脆弱生态修复与保护研究”重点专项 2016 年度申报指南中。根据指南的要求,中国科学院生态环境研究中心作为牵头单位,联合中国科学院地理科学与资源研究所,西北农林科技大学等共 10 家单位申报了“黄土高原区域生态系统演变规律和维持机制研究”项目,并通过评审、获准立项(项目编号:2016YFC0501600)。本项目旨在开展黄土高原变化环境下区域生态系统演变规律和维持机制的理论和方法研究,将为推进退化生态系统可持续修复、有效实现从水土流失治理向区域生态系统综合管理的转变、改善生态治理成效提供科学基础。

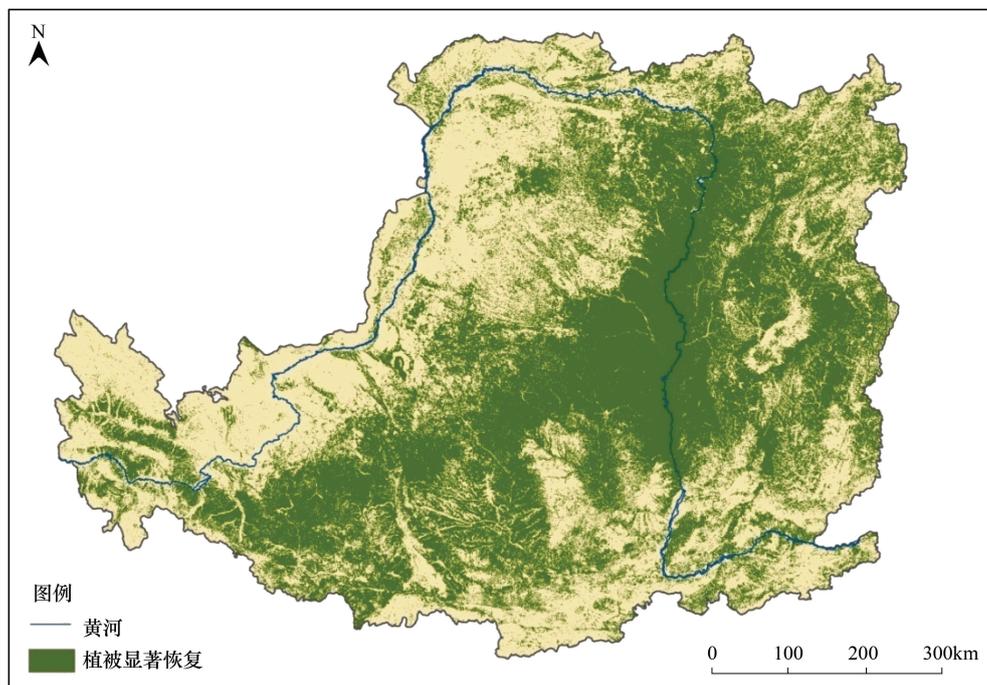


图 1 2000—2014 年黄土高原植被覆盖显著增加范围

Fig.1 The significant vegetation restoration in the Loess Plateau in 2000—2014

2 项目研究目标与内容

项目的总体目标是:(1)阐明生态系统演变规律与驱动机制,揭示生态修复对生态系统结构-功能的影响机理,解析生态系统变化与水土资源效应的定量关系,发展生态系统承载力定量评价和管理模型,阐明生态系统承载力空间格局与优化途径。(2)定

量评估不同生态修复模式的功能效应和可持续性,完成生态系统承载力和植被适宜性综合评估及系列制图,为新时期黄土高原分区、分类的生态综合治理提供科学依据。

项目的主要研究内容:(1)生态系统演变规律及驱动机制;(2)生态系统结构-功能响应机理与综合评估;(3)生态系统变化的水文和土壤侵蚀效应与作

用机制;(4)生态系统承载力及可持续调控途径。对应设置 5 个课题:(1)黄土高原生态系统及其空间格局的演变规律、(2)黄土高原生态修复模式的格局-结构-功能关系、(3)黄土高原生态系统变化的水资源效应与作用机理、(4)黄土高原生态修复的土壤侵蚀效应与控制机制和(5)黄土高原生态系统承载力调控机制与提升途径。通过上述研究拟解决 3 个重大科学问题:(1)生态系统演变规律及自然和社会驱动机制;(2)生态修复的水土资源效应与可持续维持机制;(3)生态系统承载力空间格局与可持续利用和调控途径。

3 项目研究方案

本项目的实施方案采取“多尺度布局、多任务集

成、多维度综合”的设计框架。从研究尺度上,重点关注生态系统、流域和区域及其跨尺度关联关系;要素和过程方面,综合考虑自然和人文要素与过程的多重维度;目标导向方面,通过系统解析,实现机理识别、评价制图、动态模拟和决策支持方面的项目目标。从研究任务的落实上,项目采取分总结合、多任务集成的策略,生态系统宏观格局、关键过程、结构-格局-过程-功能作用机理、生态系统承载力层层递进;从研究方法上,地面调查观测、遥感监测、模型开发与区域集成协调配合,满足项目研究的技术需求。在项目研究的空间布局上,采取沿区域生态环境梯度长期定位观测站点及其小流域、重点流域/县域、面上样带调查,再上升到整个区域的设计策略(图 2)。

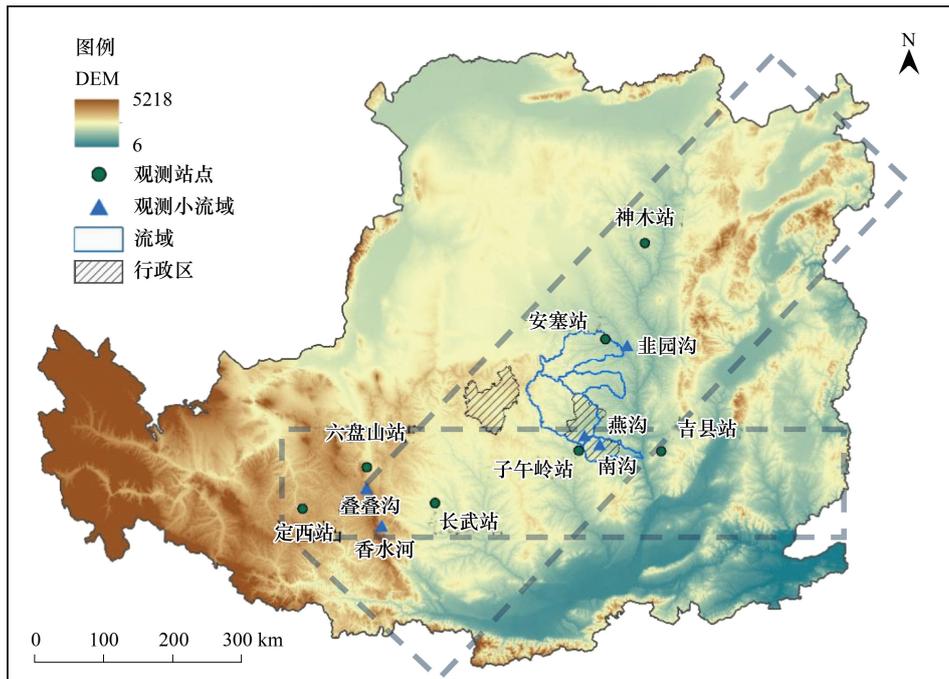


图 2 项目研究的空间布局

Fig.2 Spatial layout of field-based research

4 项目研究技术难点

项目的技术难点主要有 3 方面。第一,将高分遥感影像和激光雷达三维扫描和识别技术相结合的小流域生态系统结构和格局研究与制图,基于多源数据的区域多变量植被现状制图等方法方面,在本项目中还是新的尝试,针对项目研究区无可借鉴的技术方法,这将是在不同尺度生态系统结构、格局研究中需要重点突破的技术难点。第二,阐明生态修

复背景下,生态系统结构、格局、过程、功能之间的动态响应关系是本项目在科学机理探讨方面的重要内容,也是开展水土资源效应和生态系统承载力研究和模拟的依据。在本项目区以往单要素或要素之间两两关系的探讨较多,多要素之间动态耦合关系的研究较缺乏,是机理探索方面的技术难点。本项目以典型小流域为重点,尝试在多要素之间动态耦合关系定量分析方法方面有所发展。第三,在模型研发方面,项目承担团队有一定的研究基础,但是在模

型的区域适应性提升和面向现实需求的集成应用方面,仍然是本项目需要着力突破的技术难点。以往的模型多是基于小尺度开发的相对简单的模型,本项目的研究将重点加强模型功能和区域适应性拓展方面的研发力度,通过紧密跟踪同类模型研究的国际前沿、加强项目内部各模型研发的密切交流与协作和数据共享来攻克模型研发方面的技术难点。

参考文献 (References):

- [1] Asbjornsen H, Goldsmith GR, Alvarado-Barrientos MS, Rebel K, Van Osch FP, Rietkerk M, Chen JQ, Gotsch S, Tobon C, Geissert DR, Gomez-Tagle A, Vache K, Dawson TE. Ecohydrological advances and applications in plant-water relations research: a review. *Journal of Plant Ecology*, 2011, 4(1/2): 3-22.
- [2] Labriere N, Locatelli B, Laumonier Y, Freycon V, Bernoux M. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 203: 127-139.
- [3] Posthumus H, Deeks LK, Rickson RJ, Quinton JN. Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use & Management*, 2015, 31: 16-33.
- [4] Pasher J, Smith PA, Forbes M R, Duffe J. Terrestrial ecosystem monitoring in Canada and the greater role for integrated earth observation. *Environmental Reviews*, 2014, 22(2): 179-187.
- [5] Leitao P J, Schwieder M, Suess S, Okujeni A, Galvao L S, van der Linden S, Hostert P. Monitoring Natural Ecosystem and Ecological Gradients: Perspectives with EnMAP. *Remote Sensing*, 2015, 7(10): 13098-13119.
- [6] 欧阳志云, 张路, 吴炳方, 李晓松, 徐卫华, 肖焱, 郑华. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系. *生态学报*, 2015, 35(2): 219-226.
- [7] Giri C, Pengra B, Long J, Loveland T R. Next generation of global land cover characterization, mapping, and monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, 25(2013): 30-37.
- [8] 陈军, 陈晋, 廖安平, 曹鑫, 陈利军, 陈学泓, 彭舒, 韩刚, 张宏伟, 何超英, 武昊, 陆苗. 全球 30m 地表覆盖遥感制图的总体技术. *测绘学报*, 2014, 43(6): 551-557.
- [9] Lü Y H, Fu B J, Feng X M, Zeng Y, Liu Y, Chang R Y, Sun G, Wu B F. A Policy-Driven Large Scale Ecological Restoration: Quantifying Ecosystem Services Changes in the Loess Plateau of China. *Plos One*, 2012, 7(2): e31782
- [10] Feng X M, Sun G, Fu B J, Su C H, Liu Y, Lamparski H. Regional effects of vegetation restoration on water yield across the Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16(8): 2617-2628.
- [11] 任美镠. 黄河的输沙量: 过去、现在和将来-距今 15 万年以来的黄河泥沙收支表. *地球科学进展*, 2006, 21(6): 551-563.
- [12] 邵明安, 郭忠升, 夏永秋, 王延平. 黄土高原土壤水分植被承载力研究. 北京: 科学出版社, 2010.
- [13] 田均良. 黄土高原生态建设环境效应研究. 北京: 气象出版社, 2010.
- [14] Wang S, Fu B J, Piao S L, Lü Y H, Philippe C, Feng X M, Wang Y F. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nature Geoscience*, 2016, 9: 38-41.
- [15] 李锐. 中国水土流失基础研究的机遇与挑战. *自然杂志*, 2008, 30(1): 6-11.
- [16] Chen YP, Wang KB, Lin YS, Shi WY, Song Y, He XH. Balancing green and grain trade. *Nature Geoscience*, 2015, 8(10): 739-741.
- [17] 陈宜瑜, Beate J, 傅伯杰, 于秀波, Jamie P. 中国生态系统服务与管理战略. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [18] Lü Y H, Zhang L W, Feng X M, Zeng Y, Fu B J, Yao X L, Li J R, Wu B F. Recent ecological transitions in China: greening, browning, and influential factors. *Scientific Report*, 2015, 5: 8732, doi:10.1038/srep08732.