

DOI: 10.5846/stxb201909051848

王聪, 伍星, 傅伯杰, 韩兴国, 陈亚宁, 王克林, 周华坤, 冯晓明, 李宗善. 重点脆弱生态区生态恢复模式现状与发展方向. 生态学报, 2019, 39(20):

Wang C, Wu X, Fu B J, Han X G, Chen Y N, Wang K L, Zhou H K, Feng X M, Li Z S. Ecological restoration in the key ecologically vulnerable regions: Current situation and development direction. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20):

重点脆弱生态区生态恢复模式现状与发展方向

王 聪¹, 伍 星¹, 傅伯杰^{1,2,*}, 韩兴国³, 陈亚宁⁴, 王克林⁵, 周华坤⁶, 冯晓明¹, 李宗善¹

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, 北京 100085

2 北京师范大学地理科学学部, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

3 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093

4 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011

5 中国科学院亚热带农业生态研究所, 环江喀斯特生态系统观测研究站, 长沙 410125

6 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 西宁 810008

摘要: 生态系统退化严重影响区域可持续发展, 控制和恢复生态系统退化已成为重要议题。我国脆弱生态区分布广泛, 生态系统退化显著, 荒漠化、水土流失、石漠化等问题突出, 针对这一问题, 我国已开展一系列生态恢复工程, 积累了数量众多的生态恢复模式。在梳理重点脆弱生态区(北方风沙区、青藏高寒区、干旱荒漠区、黄土高原区和喀斯特地区)生态环境问题现状基础上, 整理了针对不同脆弱生态区及亚区的生态恢复模式, 构建了一套全面评估生态恢复模式的综合效益的指标体系, 结合实地调查和数据收集, 评估了脆弱生态区的生态恢复模式的综合效益, 基于此提出生态恢复实践中应将生物多样性和生态系统服务提升作为重要目标, 同时加强针对生态恢复模式的成本效益分析, 综合设计生态恢复管理制度, 搭建重点脆弱生态区生态恢复信息平台可为生态恢复模式筛选和优化提供决策支持。

关键词: 重点脆弱生态区; 生态恢复模式; 综合指标体系; 信息平台

Ecological restoration in the key ecologically vulnerable regions: Current situation and development direction

WANG Cong¹, WU Xing¹, FU Bojie^{1,2,*}, HAN Xingguo³, CHEN Yaning⁴, WANG Kelin⁵, ZHOU Huakun⁶, FENG Xiaoming¹, LI Zongshan¹

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

2 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

4 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

5 Huanjiang Observation and Research Station for Karst Ecosystems, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

6 Key Laboratory of Cold Regions Restoration Ecology, Qinghai Province, Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

基金项目: 中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-STZ-ZDTP-036-7); 国家重点研发计划课题(2016YFC0501603, 2016YFC0502102); 国家自然科学基金项目(41807153); 中国科协青年人才托举工程(2017QNRC001); 中国科学院青年创新促进会(2018056)

收稿日期: 2019-09-05; **网络出版日期:** 2019-00-00

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

Abstract: Ecosystem degradation seriously affects regional sustainable development. Therefore, ecosystem restoration has become a critical issue. China's ecologically vulnerable regions are widely distributed and the degradation of ecosystems is remarkable. Desertification, soil erosion, and rocky desertification have become prominent problems. To address these problems, China has launched a series of ecological restoration projects and accumulated a large number of ecological restoration modes. This study clarified the current situation and eco-environmental problems in the key ecologically vulnerable regions (northern wind-sand, Tibetan Plateau, arid desert, Loess Plateau, and karst regions), listed the ecological restoration modes according to the ecologically vulnerable regions and their sub-regions, and developed a comprehensive evaluation index system for the restoration modes. The comprehensive benefits of ecological restoration were assessed based on field surveys and data collection. This study suggested that biodiversity and ecosystem services should be promoted as an important goal for restoration practices, the cost-benefit analysis of ecological restoration modes should be strengthened, and a comprehensive design of an ecological restoration management system should be developed. The establishment of an ecological restoration information platform for ecologically vulnerable regions can provide decision support for the selection and optimization of ecological restoration modes.

Key Words: key ecologically vulnerable regions; Ecological restoration mode; Comprehensive index system; Information platform

生态退化是受到全球关注的重大经济、社会和环境问题,防治生态退化已成为可持续发展的重要议题。1978年,联合国荒漠化会议通过了《防治荒漠化行动计划》^[1],1994年,《联合国防治荒漠化公约》将荒漠化定义为干旱、半干旱和干旱半湿润地区由于各种因素,包括气候变化和人类活动造成的土地退化^[2]。2019年,联合国启动了生态系统恢复十年计划(2021年—2030年),旨在大规模恢复退化和破坏的生态系统,作为应对气候危机、供水和粮食安全以及生物多样性的有效措施。此外,根据联合国千年生态系统服务评估报告,处于退化与不可持续状态的生态系统约占全球面积的60%^[3]。因此,控制和恢复退化生态系统是满足日益增长的人口对粮食、饲料、生物量能源、纤维和木材的需要以及维持全球变化背景下生态系统稳定性至关重要^[4],也是实现17项可持续发展目标的关键环节^[5]。

我国是世界上脆弱生态区分布最广泛的国家,脆弱生态类型多样、生态脆弱性严重,其中,荒漠化、水土流失、石漠化等多集中在西北和西南地区,占国土面积的22%左右^[6],鉴于此,我国开展了一系列的生态恢复工程措施^[7-8],如植树造林、退耕还林还草、天然林保护工程、流域综合治理、水土保持工程、自然保护区建设等,取得了重要成效。在生态恢复工程实践中,我国也积累一系列的生态恢复技术,据统计自“十五”以来,共研发214项核心技术,其中的造林技术、生物篱技术、节水保土技术等均已得到广泛应用^[9-10],生态恢复技术的研发也逐渐从单一目标转化为兼顾生态效益、社会效益和经济效益的复合模式^[9],综合治理技术和模式集成已成为当前生态恢复的主要措施。在区域尺度上,生态恢复效益的评估已有不少积累^[11-12],但多集中于生态效益的评估,多以生态系统服务评估为主,对社会经济效益的考虑相对较少,且针对生态恢复模式的评估也相对缺乏。本文旨在梳理我国重点脆弱生态区(喀斯特地区、青藏高原区、干旱荒漠区、黄土高原区、北方风沙区)的基本情况与生态问题,针对生态恢复模式建立评价指标体系,基于实地调研和数据收集,总结了部分生态恢复模式效益,提出了今后生态恢复发展的方向,为优化和筛选生态恢复模式提供依据。

1 重点脆弱生态区现状与问题

中国是世界上脆弱生态类型最多样的国家之一,同时面临着冻融侵蚀、水力侵蚀、风力侵蚀、土地沙漠化、盐渍化、石漠化、水土资源匮乏等生态问题,脆弱生态类型呈现一定的时空异质性。中国脆弱生态区的形成是自然属性和人类活动共同作用的结果,而区域自然属性的差异及区域社会经济发展的不平衡也导致不同重点脆弱生态区生态系统退化的差异,不同区域生态恢复的重点也不尽相同。本文着重对喀斯特地区、青藏高原区、干旱荒漠区、黄土高原区和北方风沙区进行现状与问题梳理与总结(图1)。

Fig.1 Scope of key ecologically vulnerable regions and their sub-regions in China

表 1 不同脆弱生态区生态环境现状与生态恢复模式汇总

Table 1 Summary of eco-environmental status and ecological restoration modes in different ecologically vulnerable regions					
重点脆弱生态区 Ecologically vulnerable regions	退化现状 Ecological degradation status	退化原因 Causes of degradation	生态分区 Ecological subregion classification	分区生态环境问题 Eco-environmental issues in subregions	生态恢复模式 Ecological restoration modes
北方风沙区 Northern sand region	北方风沙区土地沙漠化主要包括四种形式:农田风蚀、草场沙化、固定沙丘活化和流沙前移 ^[13] ;北方风沙区土地沙漠化速率由 1955—1975 年间的 1560km ² /a 上升到 1976—1987 年间的 2100km ² /a,又上升到 1988—2000 年间的 3600 km ² /a ^[14] 。在过去 20 年,北方风沙区开展实施了一系列的生态恢复和管理措施,部分农牧区土地沙漠化趋势得到有效控制 ^[15] 。	人类活动引起的土地利用变化是草场退化和土地沙漠化的重要原因。当干旱年份降水不能满足旱作农业需求下限时,会出现农田被迫弃耕的现象,在春季强风的作用下,农田细碎的土壤颗粒和土壤有机质会被迅速风蚀,导致沙漠化,而轮作制导致的草地滥垦也加剧了沙漠化进程 ^[13] ;此外,沙漠化开垦加之牲畜数量的增加,草场出现过度放牧的现象,生产力和生物多样性降低,并伴随有毒物种入侵;由于处于干旱半干旱地区的过渡带,区域植物物种对气候适应能力相对较弱,加之风沙地貌区土壤基质分布不均匀,风大沙多,区域生态系统调节能力弱,对外界干扰敏感 ^[13] 。	京北劣质化草原 浑善达克沙地亚区	草地退化沙化严重,草地承载力急剧下降,物种多样性降低、优质牧草比例降低。 草场沙化和退化现象严重。	(1)人工辅助改良退化天然草地技术模式。 (1)沙化草地综合治理的“三分模式”; (2)打草场轮刈-休闲技术体系; (3)多年生人工草地建植技术。
			蒙辽破碎化草原 阴山北麓风蚀草原	土壤风蚀严重,景观破碎化、土地沙化及养分贫瘠化等草地退化问题。 大面积的草场沙化和退化现象,土壤肥力下降,水土流失现象日趋严重;原始生态环境受到破坏,生物资源急剧减少,土地生产力下降。	(1)破碎化草地集中连片恢复模式。 (1)灌草结合“四行一带”模式; (2)封育后“补植补播”模式。
				黄土高原丘陵沟壑区	强降雨或暴雨引起土壤侵蚀。
黄土高原区 Loess Plateau	区域主要的退化特征是水土流失,且具有明显的区域分布特征,主要有水蚀区、风蚀区和风蚀水蚀交错区,黄土高原水土流失面积 47.2×10 ⁴ km ² ,其中侵蚀模数大于 8000 t km ⁻² a ⁻¹ , 占中国同类面积的 64.95% ^[16-17] ; 伴随水土流失,土壤出现肥力下降现象,氮磷钾等养分随土壤侵蚀大量流失 ^[17] ;	该地区地形复杂,丘陵沟壑丛生,土壤易蚀性高、降雨集中且强度大、人类活动时间长等特征导致了区域水土流失严重	黄土高原高原沟壑区	塬面侵蚀严重。	(1)面向水土保持的侵蚀沟道生物+工程治理模式; (2)面向水土流失治理和生态恢复的退耕地人工林草植被可持續经营模式; (3)坡面水土保持乔灌木配置模式。
			土石山区及河谷平原区	土石山区由于土层较薄和人类干扰较强,局部地区存在较强水土流失。河谷平原区,由于地势低平,部分地区排水不畅,灌溉方式不合理,有次生盐渍化现象。	(1)丘陵缓坡风沙区防风固沙水源涵养模式; (2)河谷平原流域综合治理模式; (3)农业和生态果园双向控制模式; (3)农业和生态果园双向控制模式。

续表

重点脆弱生态区 Ecologically vulnerable regions	退化现状 Ecological degradation status	退化原因 Causes of degradation	生态分区 Ecological subregion classification	分区生态环境问题 Eco-environmental issues in subregions	生态恢复模式 Ecological restoration modes
			沙地及农灌区	在农灌区,由于气候干旱和地下水水位较高,土地盐渍化较重,不适当的引水和灌溉导致了耕地大面积的次生盐渍化;另一方面,部分地区由于不适当地抽取地下水,导致地下水水位下降和地表植被死亡。	(1)农田防护林体系模式;(2)节水农业模式;(3)封山禁牧舍养模式。
喀斯特地区 Karst region	喀斯特地区(包含埋藏、覆盖和裸露的碳酸盐地区)面积约为 $344 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占国土面积的 36%,其中,裸露的碳酸盐面积约为 $51 \times 10^4 \text{ km}^2$,占国土面积的 5.8%,根据石漠化的严重程度可以分为四类 ^[2] :(1)裸露岩石面积不超过 30%,未发生荒漠化;(2)裸露岩石面积为 30%—50%,轻度荒漠化;(3)裸露岩石面积为 50%—70%中度荒漠化;(4)裸露岩石面积超过 70%,严重荒漠化。	碳酸盐岩溶解性强,喀斯特地区的土壤形成率低,且成土速度要显著慢于其他地区 ^[2] ;该地区地形地貌以山地为主,陡峭而破碎的地形特征为地表径流提供了动能,加剧土壤侵蚀和岩溶作用 ^[18] ;区域具有地表和地下双重排水系统,由天坑和裂缝链接在一起,且地下水埋深达数百米,由于裂缝的高渗透性和岩溶特征,土层需水能力低,又不能支撑植被生长,而植被覆盖的减少又会使进一步增加石漠化风险 ^[19] ,人类活动造成的植被破坏也进一步加剧了该风险。	喀斯特峰丛洼地区 喀斯特高原亚区	水文系统具有典型的二元结构,地表水系缺乏,而地下水系发育。主要问题是缺水、少土,耕地资源匮乏,石漠化严重,生态恶劣,人地矛盾十分突出。 基岩裸露率较高,石漠化严重,喀斯特石质山区,土壤空间分布不连续;土壤蠕滑现象明显;农业生产环境恶劣,土地生产力较差。	(1)喀斯特替代型草畜牧业发展模式;(2)因土制宜的石漠化垂直分带治理模式;(3)峰丛洼地复合型立体生态农业发展模式。 (1)连续性碳酸盐岩高原谷地区“高效集水节水生态农业”主导型模式;(2)碎屑岩与碳酸盐岩互层高原盆地“发挥水土资源优势的立体农业”导向型石漠化综合治理模式(3)碳酸盐岩夹层高原峡谷“发挥光热资源优势的特色林果”导向型立体生态农业发展模式。
青藏高原 Qinghai-Tibet Plateau	青藏高原生态系统面临着本土物种流失和草原生态系统失衡日益加剧的风险,二者都破坏了草原生态系统的可持续性。高寒草甸系统经历了复杂的扰动,表现出退化的趋势 ^[20] ,退化类型有高寒草甸退化,高山草原荒漠化以及温带山地草甸中毒杂草问题 ^[20-21] 。青藏高原不同区域退化类型及强度已不一致,如高原草原退化严重,当前海拔 3000—5000 m 的草地退化区域也已出现了黑土滩 ^[22] 。	青藏高原的退化主要由过度放牧、鼠兔破坏和气候变化导致 ^[20] ;过度放牧会减少土壤养分,进而对草场生物量产生不利影响,导致草场退化;鼠兔等在挖掘过程中挖出的土会覆盖在草地其他区域,影响植物生长,并导致土壤侵蚀,加速了草地退化;高寒草甸和草原植被的大规模退化是近年来区域气候变暖的结果,主要与前期冻土退化有关 ^[23] 。	西藏“一江两河”亚区	土壤土层浅薄,天然草地植物生产量低,草地易退化快、难恢复;区域人类活动强烈,草畜供求矛盾突出,草地管理粗放、滥牧现象严重,更进一步加剧了该区域天然草地的退化。	(1)西藏半农半牧区草地畜牧业生产生态协同可持续发展模式。

续表

重点脆弱生态区 Ecologically vulnerable regions	退化现状 Ecological degradation status	退化原因 Causes of degradation	生态分区 Ecological subregion classification	分区生态环境问题 Eco-environmental issues in subregions	生态恢复模式 Ecological restoration modes
干旱荒漠区 Arid desert region	区域出现的退化问题主要有:(1)土地沙漠化,已有超过 $18\times 10^4\text{ km}^2$ 的胡杨林区的被砍伐变成沙漠 ^[24] ,土地开垦及弃耕也加速了沙漠化;(2)自然植被面积萎缩,近 50 年来,塔里木河下游最重要的树种胡杨林面积从 $5.4\times 10^4\text{ km}^2$ 下降到 $0.52\times 10^4\text{ km}^2$ ^[25] 。灌木和草甸植被面积减少了 200 平方公里;(3)沙尘暴加剧,人工绿洲的增多和扩张,流入下游的径流减少,导致自然绿洲的萎缩,直接加剧了沙尘暴的发生频率,而气候变化也带来叠加影响;(4)土壤盐碱化和水质下降,由于水库和运河的建设,水量逐渐减少,土壤表面蒸发强烈,	地下水是干旱荒漠区重要的水分来源,维持着生态系统的稳定和平衡。主要来自内陆河流的渗漏,由上游水源补给。以塔里木河流域为例,中游地区是以灌溉农业为主的粮食主产区,20 世纪 90 年代以来,中游地区社会经济的过度发展,人口的增加和粮食需求的增加,农田面积不断扩大,越来越多的上游径流在进入下游之前被截留用于作物灌溉,地下水补给减少,下游地区开始出现严重的生态系统退化 ^[27] 。	藏北高原亚区	草地超载过度放牧,草场退化沙化严重;风大沙多,沙尘暴时有发生;风沙、风雪与水土流失灾害并存,加剧沙地生态系统功能下降;全球气候变化严重影响高寒草地生态系统生产力、群落结构及生物多样性等,制约当地畜牧业的发展。	(1)藏北高原退化草地恢复与重建技术模式。
			川西甘南高寒区	在气候变化、鼠虫害、过度放牧等自然和人为因素的共同作用下呈现出明显的退化趋势;乱砍滥伐导致地表及地下水存储量锐减,降雨量减少,雪线上升,冰川后退,干旱引起草地加速退化。	(1)防沙固沙模式。
			环青海湖及祁连山区	森林植被和湿地生态系统消退,荒漠面积扩充,优良牧草种类减少,毒杂草大量滋生,可食草量大幅度下降,植被盖度降低;放牧草地长期超载过牧、盲目垦荒、乱采滥伐、鼠虫害等,草地生态系统稳定性丧失严重。	(1)退化草地生态修复模式;(2)山地旱坡植被重建技术。
			三江源区	林草植被盖度降低,湿地生态系统面积减少,湖泊萎缩,冰川后退,水资源减少;草地退化与土地沙化日趋加剧,水源涵养功能下降,江河径流量逐年减少;草原鼠害猖獗,生物多样性减少。	(1)人工草地分类建植技术;(2)黑土滩恢复治理技术模式。
			河西走廊-阿拉善高原-温带干旱荒漠亚区	人地矛盾突出,特别是水土资源开发过程中生产与生态用水矛盾加剧,内陆河流域人工绿洲过度消耗水资源,致使下游河道断流,生态需水无法保障,天然绿洲与荒漠生态系统失去生态平衡,荒漠化进程加速,侵袭人工绿洲。	(1)“前沿阻沙林带+固沙林带+植物活体沙障阻沙带+封沙育林育草带”的“四带一体”防护模式;(2)盐碱地的生物改良技术模式;(3)生态退耕与围栏封育;(4)生态补植与防护林建设。

续表

重点脆弱生态区 Ecologically vulnerable regions	退化现状 Ecological degradation status	退化原因 Causes of degradation	生态分区 Ecological subregion classification	分区生态环境问题 Eco-environmental issues in subregions	生态恢复模式 Ecological restoration modes
	多年的灌溉和蒸发增加导致了次生土壤盐渍化,天然河流的水量逐渐减少,导致水质恶化;(5)河流断流、尾间湖干涸,内陆河流中上游大规模的农业复垦和不合理的用水利用,导致下游公里的河流出现干涸,地下水位急剧下降 ^[26] ,尾间湖消失。		塔里木盆地暖温带极端干旱荒漠亚区	快速增加的农业用水需求进一步加剧生产与生态用水矛盾,农业用水挤占荒漠河岸林生态系统的生态用水,河道断流,尾间湖泊断流,荒漠河岸林生态系统退化显著,绿洲—荒漠过渡带萎缩,荒漠植被衰败,自然生态系统服务功能下降。	(1)人工植被与天然植被的生态融合技术与模式; (2)退化胡杨种群更新的技术模式;(3)植物群落自然发生与人工激活技术模式。
			准噶尔盆地温带干旱荒漠亚区	水土资源不平衡背景下人工绿洲扩充蚕食绿洲-荒漠过渡带,破坏荒漠生态系统,随着人类经济社会活动对荒漠生态系统扰动加剧,绿洲-荒漠过渡带萎缩,绿洲外围受荒漠化威胁,荒漠生态系统受损,生物多样性保护与荒漠植被保育亟待加强。	(1)绿洲-荒漠过渡带生态产业建设配套技术与模式;(2)荒漠绿洲生态安全与保障体系建设技术模式。

1 喀斯特地区生态亚区分区仅介绍了峰丛洼地亚区和高原亚区

表 2 生态恢复模式效益评估*

Table 2 Benefit evaluation of ecological restoration modes										
指标类别 Indicator categories	要素层 Subject level	指标层 Indicator level	北方风沙区 Northern wind-sand region							
			干旱荒漠区 Arid desert region		青藏高原区 Qinghai-Tibet Plateau		黄土高原区 Loess Plateau		喀斯特地区 Karst region	
			蒙辽破碎化 草地	浑善达克沙 地区	阴山北麓风 蚀草地	塔里木盆地 暖温带极端 干旱荒漠 亚区	环青海湖及 祁连山区	黄土高原高 塬沟壑区	沙地及农 灌区	喀斯特峰丛 洼地区
I. 生态效益 Ecological benefit	I.1 生态系统质量	破碎化草地 集中连片恢 复模式	多年生人工 草地建植 技术	灌草结 合 “四行一带” 模式	植物群落自 然发生与人 工激活技术 模式	山地旱坡植 被建植技术	面向水土保 持的侵蚀沟 道生物+工 程治理模式	农田防护林 体系模式	因土制宜的 石漠化垂直 分带治 理 模式	“高效集水节水生态 农业”主导型模式
		/	++	++	+++	+	++	+++	+++	++
		+	+	++	+	+	+	++	++	+
		++	+++	+++	/	+++	/	+++	+++	++
		+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+
		+++	/	+	/	/	++	+	+	+
		+	/	/	/	/	/	/	+	+
		++	/	/	/	/	+	/	++	++
		/	/	/	/	/	/	/	++	+
		/	+++	+	/	+	/	+++	+++	+++
II. 社会/经济效益 Social economical benefit	II.1 经济收入	居民收入	++	/	/	/	/	/	/	/
		粮食/牧草产量(值)	++	++	/	/	++	++	+++	+++
		培训农民数	++	++	++	/	++	++	+++	+++
	II.2 社会影响	培训技术人员数	+	+	+	/	++	+	+	+
		示范推广面积	+++	++	+++	++	++	++	+++	+++

* 生态恢复模式实施后指标增长的百分比: “+”表示 0—30%, “++”表示 30%—100%, “+++”表示 >100%

生态系统功能,社会经济效益主要为经济收入、社会影响等。根据各脆弱生态区生态恢复示范区实地调查及数据收集情况,筛选了几个示范区内数据较为完备的生态恢复模式以展示其生态恢复效果(表2),发现不同脆弱生态区内的生态恢复模式在生态效益和社会经济效益均取得良好效果,但部分脆弱生态区亚区的恢复模式在生态效益和社会-经济效益之间存在权衡关系,在下一步的生态恢复模式筛选和推广中,应根据脆弱生态区的自然和社会条件选择适宜该地区的恢复模式。此外,当前生态恢复的效益监测结果中,生态效益的监测数据较为全面,而社会-经济效益的监测数据相对缺乏,今后应加强对于生态恢复模式的综合监测,为生态恢复模式评价提供定量基础。

3 重点脆弱生态区生态恢复发展方向

(1)将生物多样性和生态系统服务纳入生态恢复实践中。生态系统服务与人类福祉直接相关,生态系统的结构与功能直接影响了生态系统服务的水平 and 能力,而通过生态恢复改善生态系统功能和服务能力,增进人类福祉是生态恢复实践的重要目标。此外,生物多样性会对生态系统服务起到促进作用,虽然这种促进关系存在一定的争议^[28],但在生态恢复实践中应考虑生物多样性和生态系统服务之间的关系,将生物多样性和生态系统服务纳入生态恢复效益的重要指标,并进行切实监测,增加生态系统适应性管理手段来确保生物多样性和生态系统服务有所增强,确保生态恢复中利益相关者的需求能得到满足,设计将生态系统恢复增加的惠益向本地居民、农民等流动的机制。

(2)将成本效益分析纳入生态恢复实践中。生态恢复可以视为社会系统中的重要投资行为^[29],会产生重大效益,因此,分析生态恢复过程中经济因素有助于理解景观尺度生态恢复管理机制^[28]。不同恢复方式在成本效益上存在显著差异,需从社会生态系统的角度考虑生态系统恢复力及外界和人类干扰状况,结合当地的社会经济发展水平来选择生态恢复方式。比较不同恢复方式的经济可行性,可以为生态恢复决策中的资源分配及目标制定提供依据,并且防止在生态恢复效益没有得到投资补偿的情况下浪费资源,筛选出具备“性价比”的生态恢复方式^[28]。

(3)加强生态恢复管理制度设计。以往生态恢复的开展多单纯的以生态问题为出发点进行生态恢复技术模式的筛选与实施,出现了因一些生态过程发生变化而导致新的生态问题^[8],另外,对不同时间尺度上利益相关者的生态和社会经济效益考虑的不足,也导致部分生态恢复实践效果维持与推进受到一定影响。因此,亟待加强生态恢复整体管理制度设计,首先,建立综合全面的生态恢复效果评价指标体系,根据不同脆弱区的自然和社会条件,制定综合反映生态效益和社会经济效益的指标体系,引导生态恢复技术模式的筛选与实施;其次,加强生态恢复效果指标监测,以生态恢复效果评价指标体系为参照制定生态恢复监测方案,建立生态恢复效果长期监测机制;最后,完善生态补贴长效机制,巩固生态恢复成果,根据生态系统服务的评估监测结果,厘清不同空间尺度上的利益相关者对各项生态系统服务收益的权衡关系,采用生态补贴的方式协调不同尺度利益冲突,并根据生态系统服务价值化评估成果制定补贴标准^[30]。

(4)搭建生态恢复信息平台,促进生态恢复实践的信息流动。在以往的生态恢复过程中,不同利益相关者之间的信息并不能够有效传递。如关于生态恢复科学研究中的最新成果并不能够有效传达到生态恢复实践者和参与者,生态恢复的生态效益评估指标也很难准确传递给当地居民,管理部门和当地居民对于成本效益权衡和生态-社会经济效益权衡也无法及时反馈给科学技术人员,因此,有必要开发针对重点脆弱区不同类型成果数据管理平台和模拟演示系统,将各重点脆弱区生态恢复区生态恢复的技术、模式、推广应用等成果进行综合集成和模拟演示(图2),加强科学家群体与其他利益相关者之间的联系,加强公共协商。需建立生态恢复技术模式的模拟展示平台,连接科学技术人员、当地居民、管理部门及生态恢复实践者等不同群体,通过展示生态恢复模式的技术原理和方案、实施成本及社会、生态和经济效益,可以使得不同区域不同群体对于恢复模式选择进行充分讨论及筛选权衡,有利于生态恢复实践的稳定性。

当前我国重点脆弱生态区生态恢复实践已进入综合集成和优化提升的阶段,而建立多尺度生态恢复模式

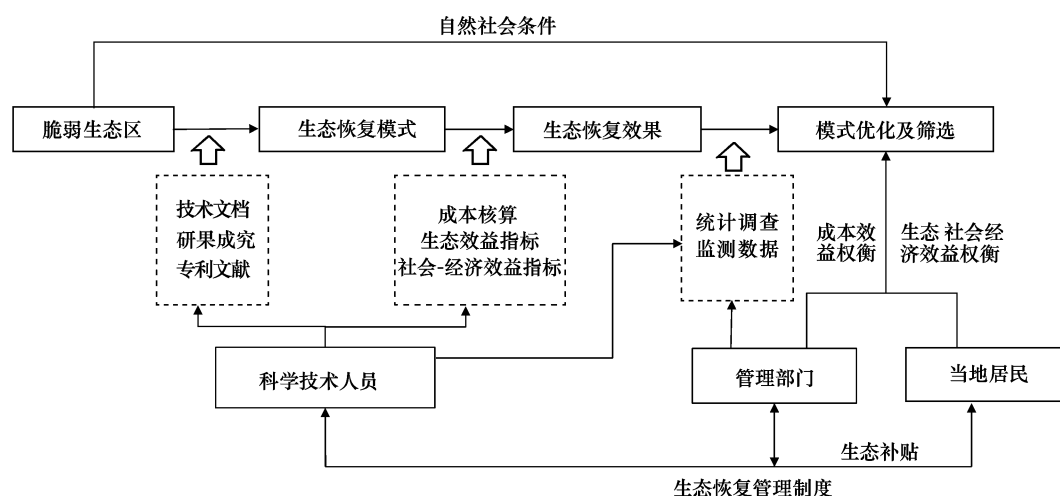


图2 生态恢复展示平台设计框架

Fig.2 Framework for ecological restoration display platform

效果的监测数据是生态恢复模式评价的重要前提,尤其应加强针对社会、经济效益的监测,在进行模式集成及优化时应考虑不同利益相关者的生态-社会经济效益权衡,着重考虑当地居民参与生态恢复实践的综合收益,以确保生态恢复的长期稳定性。

参考文献 (References):

- [1] United Nations Conference on Desertification (UNCOD). United Nations Conference on Desertification, 29 August - 9 September 1977. Round-Up, Plan of Action and Resolutions. New York: United Nations, 1978: 43-43.
- [2] Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. Rocky desertification in southwest China: impacts, causes, and restoration. *Earth-Science Reviews*, 2014, 132: 1-12.
- [3] Chopra K, Leemans R, Kumar P, Simons H. *Ecosystems and Human Well-being: Policy Responses*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [4] Daily G C. Restoring value to the world's degraded lands. *Science*, 1995, 269(5222): 350-354.
- [5] Fu B J, Wang S, Zhang J Z, Hou Z Q, Li J H. Unravelling the complexity in achieving the 17 sustainable-development goals. *National Science Review*, 2019, 6(3): 386-388.
- [6] 全国主体功能区规划. 北京: 人民出版社, 2015.
- [7] 张琨, 林乃峰, 徐德琳, 于丹丹, 邹长新. 中国生态安全研究进展: 评估模型与管理措施. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(12): 1057-1063.
- [8] 高吉喜, 杨兆平. 生态功能恢复: 中国生态恢复的目标与方向. *生态与农村环境学报*, 2015, 31(1): 1-6.
- [9] 甄霖, 胡云锋, 魏云洁, 罗琦, 韩月琪. 典型脆弱生态区生态退化趋势与治理技术需求分析. *资源科学*, 2019, 41(1): 63-74.
- [10] 傅伯杰, 刘国华, 欧阳志云. *中国生态区划研究*. 北京: 科学出版社, 2013.
- [11] Feng X M, Fu B J, Lu N, Zeng Y, Wu B F. How ecological restoration alters ecosystem services: an analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau. *Scientific Reports*, 2013, 3: 2846.
- [12] 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 Reports*, 2015, 5: 8732.
- [13] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会. 我国北方农牧交错带沙漠化的成因、过程和防治对策. *中国沙漠*, 2000, 20(S1): 22-28.
- [14] 王涛, 吴薇, 薛嫻, 孙庆伟, 张为民, 韩致文. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化. *地理学报*, 2004, 59(2): 203-212.
- [15] Wang T, Xue X, Zhou L, Guo J. Combating Aeolian desertification in northern China. *Land Degradation & Development*, 2015, 26(2): 118-132.
- [16] Zhao G, Mu X, Wen Z, Wang F, Gao P. Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(5): 499-510.
- [17] 陈怡平, 张义. 黄土高原丘陵沟壑区乡村可持续振兴模式. *中国科学院院刊*, 2019, 34(6): 708-716.
- [18] 张殿发, 王世杰, 周德全, 李瑞玲. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制. *水土保持通报*, 2001, 21(4): 1-5.

- [19] 邓艳, 蒋忠诚, 覃星铭, 祁晓凡, 蓝芙宁, 吴华英. 岩溶生态系统中不同植被枯落物对土壤理化性质的影响及岩溶效应. 生态学报, 2009, 29(6): 3307-3315.
- [20] Li X L, Gao J, Brierley G, Qiao Y M, Zhang J, Yang Y W. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibet plateau: implications for rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(1): 72-80.
- [21] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征. 地理学报, 2008, 63(4): 364-376.
- [22] 尚占环, 董全民, 施建军, 周华坤, 董世魁, 邵新庆, 李世雄, 王彦龙, 马玉寿, 丁路明, 曹广民, 龙瑞军. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近 10 年研究进展——兼论三江源生态恢复问题. 草地学报, 2018, 26(1): 1-21.
- [23] 王根绪, 李琪, 程国栋, 沈永平. 40a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应. 冰川冻土, 2001(4): 346-352.
- [24] Zhu Y H, Wu Y Q, Drake S. A survey: obstacles and strategies for the development of ground-water resources in arid inland river basins of Western China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(2): 351-367.
- [25] Chen Y J, Chen Y N, Liu J Z, Zhang E X. Influence of intermittent water releases on groundwater chemistry at the lower reaches of the Tarim River, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 158(1/4): 251-264.
- [26] Chen Y N, Li W H, Xu C C, Ye Z X, Chen Y P. Desert riparian vegetation and groundwater in the lower reaches of the Tarim River basin. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(2): 547-558.
- [27] Xia J, Zhu Y H, Wang X H. Groundwater usage in arid West China: problems and remedies. *Water International*, 2005, 30(4): 468-476.
- [28] Meli P, Herrera F F, Melo F, Pinto S, Aguirre N, Musálem K, Minaverry C, Ramírez W, Brancalion P H S. Four approaches to guide ecological restoration in Latin America. *Restoration Ecology*, 2017, 25(2): 156-163.
- [29] Aronson J, Blignaut J N, Milton S J, Le Maitre D, Esler K J, Limouzin A, Fontaine C, De Wit M P, Mugido W, Prinsloo P, Van Der Elst L, Lederer N. Are socioeconomic benefits of restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (2000—2008) in *Restoration Ecology* and 12 other scientific journals. *Restoration Ecology*, 2010, 18(2): 143-154.
- [30] 张琨, 吕一河, 傅伯杰. 生态恢复中生态系统服务的演变: 趋势、过程与评估. 生态学报, 2016, 36(20): 6337-6344.