

DOI: 10.20103/j.stxb.202310062139

罗明,刘世梁,高岩,孙雨芹,杨崇曜,张琰,胡俊涛.基于自然的解决方案在北方防沙带生态屏障建设中的应用.生态学报, 2024, 44(8): 3121-3131.

Luo M, Liu S L, Gao Y, Sun Y Q, Yang C Y, Zhang Y, Hu J T. Application of the Nature-based Solutions concept in the ecological barrier construction in the Northern Sand Prevention Belt. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(8): 3121-3131.

基于自然的解决方案在北方防沙带生态屏障建设中的应用

罗 明^{1,2,3}, 刘世梁⁴, 高 岩^{1,2,3}, 孙雨芹^{1,2,3}, 杨崇曜^{1,2,3,*}, 张 琰¹, 胡俊涛¹

1 基于自然的解决方案亚洲中心, 北京 100035

2 自然资源部国土整治中心(土地科技创新中心), 北京 100035

3 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035

4 北京师范大学 环境学院, 北京 100875

摘要: 基于自然的解决方案(NbS) 通过自然资源高效利用和适应性生态系统管理应对多样化挑战, 是国际上普遍认可的生态恢复前沿理念, 我国的国家生态屏障建设从本质上是具有中国特色的 NbS, 具有系统性、综合性和多尺度特征。NbS 的对象、主体、目标以及方案等方面与生态屏障的建设思路高度契合, 相关准则能够为生态屏障建设提供全面的理论思路和实践框架。以北方防沙带生态屏障带为例, 从北方防沙带的生态问题入手, 深入剖析了 NbS 与探讨了北方防沙带生态屏障之间的耦合关系, 从“格局-过程-尺度”机理、“服务-价值-福祉”路径和“保护-修复-管理”体系角度对 NbS 实施准则和北方防沙带生态屏障进行了阐述; 并结合基于自然解决方案的北方防沙带案例分析, 总结了 NbS 在北方防沙带生态屏障建设中的未来发展趋势和面临的挑战。

关键词: 基于自然的解决方案(NbS); 北方防沙带; 生态修复; 生态系统服务; 人类福祉

Application of the Nature-based Solutions concept in the ecological barrier construction in the Northern Sand Prevention Belt

LUO Ming^{1, 2, 3}, LIU Shiliang⁴, GAO Yan^{1, 2, 3}, SUN Yuqin^{1, 2, 3}, YANG Chongyao^{1, 2, 3, *}, ZHANG Yan¹, HU Juntao¹

1 Nature-based Solutions Asian Hub, Beijing 100035, China

2 Land Consolidation and Rehabilitation Center (Land Science and Technology Innovation Center), Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

3 Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

4 School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Nature-based Solutions (NbS) is a globally recognised approach to effectively addresses various challenges through the efficient use of natural resources and adaptive management of ecosystems. The construction of national ecological barriers in China is an example of NbS with distinctive Chinese characteristics. These ecological barriers have systematic, comprehensive and multi-scale characteristics, which are closely related to the objectives, approaches and interventions of NbS. Relative guidelines associated with NbS provide a comprehensive theoretical basis and practical framework. The Northern Sand Prevention Belt stretches across northern China, including six national key ecological function areas, and plays an important role in preventing encroachment of wind and sand. Through the implementation of a series of ecological

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1303200)

收稿日期: 2023-10-06; 网络出版日期: 2024-01-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangchongyao@lcrcc.org.cn

protection and restoration projects in the region, an ecological barrier system has been formed, resulting in an increase in vegetation cover, a reduction in disasters, an increase in biodiversity and an overall improvement in the ecological quality of the region. However, it highlights the issues of ecological and social vulnerabilities, notable contradictions between ecological protection and resource use, the impact of human activities and climate change, the need to further strengthen the effectiveness of ecological governance, and weak awareness of public participation. The large spatial span of the Northern Sand Prevention Belt, the complexity of the ecosystem and the existence of complex ecological processes within it require the application of NbS for the integrated management of the region. Taking the construction of the ecological barrier belt of the Northern Sand Control Belt as an example, this paper provides an in-depth analysis of the coupling relationship between NbS and ecological barriers, which share the same objectives in terms of solving major societal challenges, systemic thinking, ecological orientation, multi-objective synergy, spatial matching and process management. This path is underpinned by the theoretical foundation of pattern-process-scale and guided by the overarching goal of service-value-well-being. The principles of protection-restoration-management are applied to facilitate ecological protection and restoration efforts. A logical framework for the protection-restoration-management programme system is also proposed. It analysed the practical cases of the Northern Sand Prevention Belt, such as the Ulansuhai Nur Watershed in Inner Mongolia and the Kekeya Ecological Management Project in Xinjiang's Aksu Basin, and summarised the research directions, such as strengthening the research on the coupling mechanism of NbS elements under the background of ecological protection and restoration for the construction of ecological barriers in the Northern Sand Prevention Belt in the future, exploring the ways of applying the full life cycle of NbS concepts and technologies with the methods of effectiveness assessment, and promoting the synergy of ecological improvement and food security, water security, economic development and other multiple social challenges.

Key Words: Nature-based Solutions (NbS); Northern Sand Prevention Belt; ecological restoration; ecosystem services; human well-being

我国是世界上沙漠化最严重的国家之一,特别是北方地区由于地处干旱和半干旱气候区,干燥少雨,植被稀疏,沙漠广布,是典型的生态脆弱区,受气候变化和人地关系不相协调等因素影响,成为我国主要的风沙策源地^[1]。据第六次全国荒漠化和沙化调查统计,截至 2019 年,全国荒漠化土地总面积已达到 25737.13 万 hm^2 , 占我国国土总面积的 26.81%^[2]。其中,我国北方风蚀区总面积达 340 万 km^2 ^[3],沙化土地面积占国土面积的 17.93%^[4]。草场退化严重、土壤风蚀沙漠化和沙尘暴频发不仅严重影响本地区生产生活,也对我国东部地区乃至周边国家造成环境污染^[5]。

为治理风沙灾害,我国自 20 世纪 50 年代起开始在北方干旱区建设防沙带,先后实施了一系列生态修复工程,如:京津风沙源治理工程、三北防护林体系建设工程、退牧还草工程、沙区自然保护区及沙化土地封禁保护区、山水林田湖草沙一体化生态保护修复等生态工程^[6-7]。经过几十年建设,北方防沙带目前已形成自西向东、连片分布的生态屏障体系,北方防沙带通过改变地表生物地球化学过程抑制风蚀,增加植被盖度、灾害减少,生物多样性增加,局地生态质量提升,对保障北方地区社会经济可持续发展发挥了重要作用^[8]。防风固沙是北方防沙带生态系统最重要的服务功能,主要表现在能够减少沙尘暴并降低其对农业、工业和交通的影响,具体来说,通过植被的结构和过程,生态系统可以减少风蚀导致的土壤侵蚀^[9],北方防沙带也成为我国“两屏三带”中的生态屏障体系重要部分,在国家生态安全战略格局中具有重要的地位^[1]。

随着国家对北方防沙带的生态保护与修复投入不断增加,使得我国生态环境得到一定的改善,但总体形势仍然不容乐观。在北方防沙带生态屏障建设中,由于生态工程工期长、地域广、恢复时间长、过程复杂,维持生态屏障的可持续性管理具有重要意义^[10]。因此,需要寻求一种和谐型的发展模式,提高生态系统的服务功能。从适应性管理、应对各类社会挑战和提升人类福祉等角度来看,国际上所倡导的基于自然的解决方案

(NbS)是具有重要的现实意义,也是自然保护领域的创新与变革的方向^[11]。虽然 NbS 是近 10 年才逐渐被认可和广泛使用的新的概念,其内涵和目标与生态屏障的总体目标是一致的,相关的理念和方案可以应用于生态屏障的建设。

本文以北方防沙带为例,梳理了北方防沙带目前面临的生态问题,剖析 NbS 与探讨了北方防沙带生态屏障建设内涵关系,总结了 NbS 在北方防沙带生态屏障建设中应用,并从不同角度分析北方防沙带屏障建设的 NbS 路径,提出了未来发展趋势和相关建议。

1 中国北方防沙带的概述

1.1 北方防沙带布局

北方防沙带横跨我国北部,呈细长带状分布,东起大兴安岭,西至新疆准噶尔盆地(71°34′—125°43′E, 26°45′—43° 53′N),跨越青海、内蒙古、宁夏、甘肃等 9 个省(区、市),由西往东分为三段:塔里木防沙屏障带、河西走廊防沙屏障带和内蒙古防沙屏障带,包括了京津冀协同发展区和阿尔泰山地森林草原、科尔沁草原、浑善达克沙地、阴山北麓草原、塔里木河荒漠和呼伦贝尔草原 6 个国家重点生态功能区。北方防沙带以不同类型的草原、荒漠、林网等生态系统为主要形态,充当了阻止风沙对人类生活环境的侵袭的屏障作用^[12]。2020 年,我国颁布了《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035 年)》(以下简称“双重规划”),将全国重要生态系统保护和修复重大工程规划布局在包含北方防沙带的“三区四带”。2021 年,在双重规划总体安排的基础上,进一步发布了《北方防沙带生态保护和修复重大工程建设规划(2021—2035 年)》,以防治沙化和荒漠化为目标,重点部署了 6 项重点工程和 29 个重点项目,总面积达到 183 万 km²^[13]。图 1、图 2 显示的是两屏三带的北方防沙带生态屏障和双重规划北方防沙带工程位置。北方防沙带的生态保护和修复工作,对于国家战略如京津冀协同发展、西部大开发和“一带一路”等的顺利实施具有重要意义,并保障中华民族的生存和发展空间。

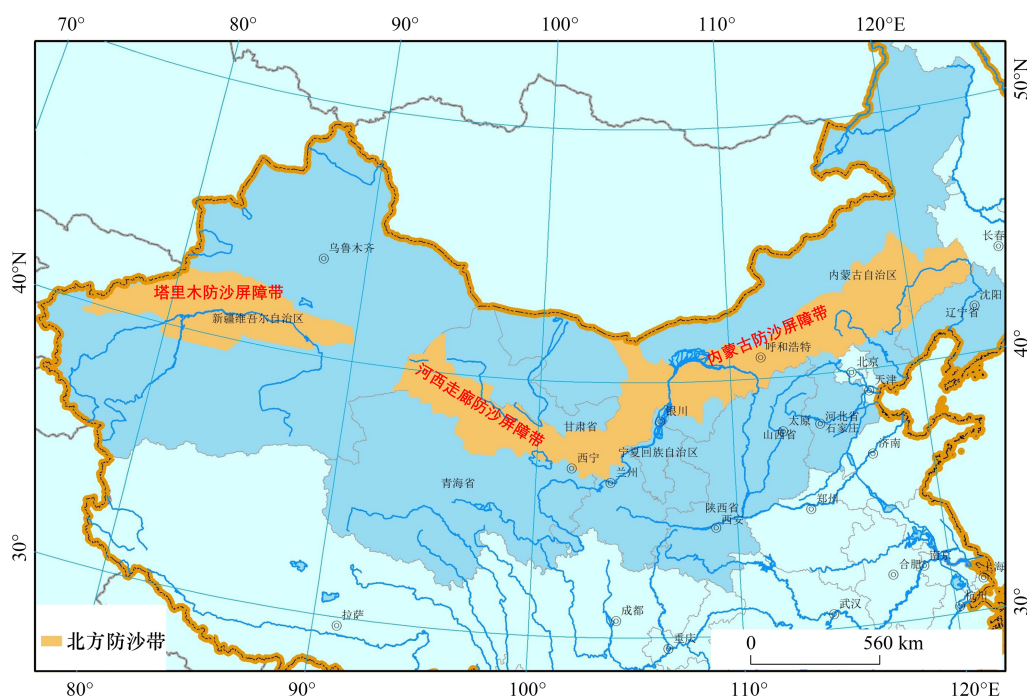


图 1 “两屏三带”北方防沙带生态屏障

Fig.1 “Two Barriers and Three Belts” ecological barriers in the Northern Sand Prevention Belt

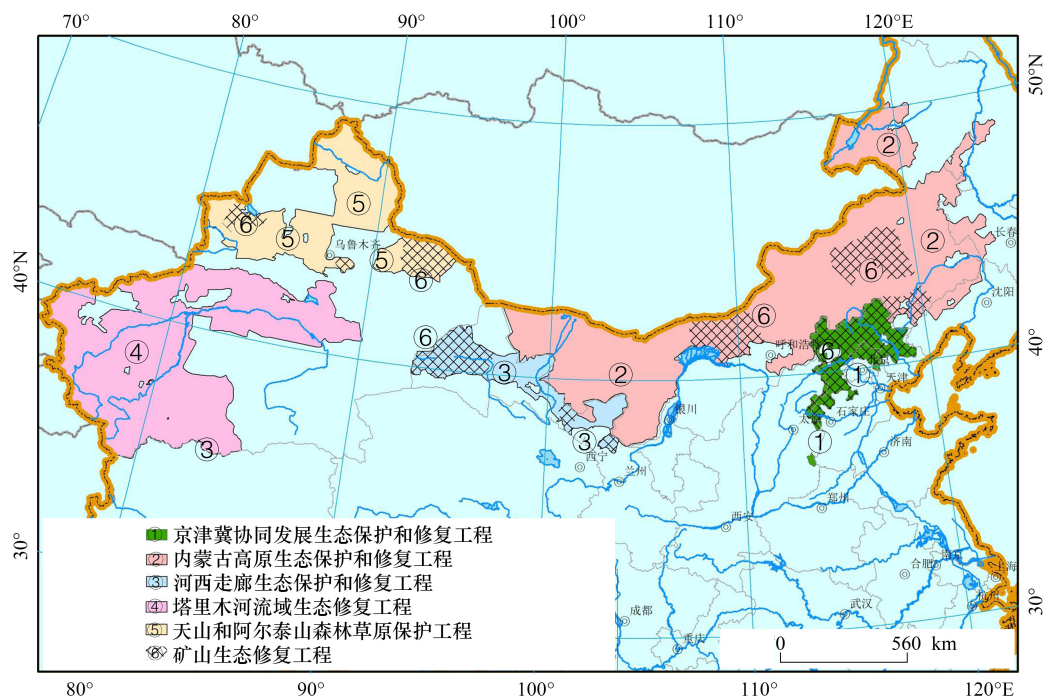


图2 北方防沙带生态保护和修复重大工程建设规划

Fig.2 The construction plan for major projects for ecological protection and restoration in the Northern Sand Prevention Belt

1.2 北方防沙带的屏障功能与生态问题

生态屏障是国家重要的生态安全战略格局,其特征是为人类的可持续发展提供所需的生态系统服务,其功能是指对屏障生态系统内、外人类赖以生存的环境的保护效应,可以概括为缓冲、过滤器、庇护、隔板、水源涵养和精神美学等功能^[14-15]。北方防沙带以防风固沙为主导功能,呈现出区域分异性,对于屏障功能的修复与建设需要考虑屏障本身的地域性、梯度性、动态性和外部性特点,从山水林田湖草沙生命共同体理念出发,考虑屏障的综合性、立体性和尺度性,结合修复的目标,对关键地带不同生态系统通过防御、保护、恢复和提升等措施,提升其生态功能,谋求生态安全。

北方防沙带受自然因素与人为因素综合影响,森林、草原功能退化,河湖、湿地面积减少,水土流失严重,水资源短缺。北方防沙带年降水量少,蒸发量大,风沙灾害频繁,由于长期过度放牧、乱采挖草药和灌木以及非法圈占草场等人为破坏,北方防沙带植被普遍退化。虽然我国荒漠化和沙化状况持续好转,沙区生态状况呈现“整体好转,改善加速”,荒漠生态系统呈现“功能增强,稳中向好”的态势^[2],但当前北方防沙带生态屏障建设仍然是初步的、阶段性的,沙漠化防治和治理任务艰巨,生态屏障建设依旧是长期的、持续的工程。

基于目前的相关研究结论,北方防沙带的生态问题及其驱动因素主要表现在以下几个方面:

(1) 北方防沙带的自然禀赋差,基础脆弱,存在生态脆弱性和社会脆弱性。

草原退化、沙化面积广阔,林草植被质量不高,远低于全国平均水平;部分河流断流、湖泊湿地面积萎缩甚至消失,局部地区地下水超采严重;调查表明,全国沙化土地中,降水量位于200mm以下的面积超过78%,200—400mm面积超过16%,植被盖度低于40%的沙化土地面积占全国沙化土地总面积的76%^[2]。研究表明,屏障带不同区域的防风固沙功能差异的原因与各地植被覆盖密切相关^[16]。总体上,内蒙古防沙屏障带大于河西走廊,最小的是塔里木防沙屏障带,防风固沙能力较弱的区域主要分布在塔里木盆地,阿拉善高原以及内蒙古浑善达克沙地^[12]。但总体上,2005—2015年生态系统质量稳中有升,但在局部存在退化现象^[17]。提升生态系统多样性、稳定性和持续性是保护和修复的核心内容,目前北方防沙带的生态系统质量和稳定性不容乐观,社会-生态系统脆弱性是北方防沙带建设的重大障碍,社会系统和生态系统两者之间相互耦合互动,

相互影响反馈,因此人地系统耦合的系统治理是解决生态问题的重要策略。

(2) 生态保护与资源利用矛盾突出,需要提升水土资源匹配和山水林田湖草沙要素的稳定性维持途径。

防沙带生境敏感脆弱,生物多样性水平低,生态保护压力大,动植物自然栖息地受扰,野生物种减少,外来有害生物入侵严重,生物多样性受损;基于土地覆被转类指数的研究结果显示 2000—2005 年宏观生态状况变差,而 2005—2010 年和总体的 2000—2010 年宏观生态状况趋好;防风固沙功能“低”等级占 60%以上,具有较大的开发潜力,2010 年防风固沙总价值达到 400 亿元以上,其中以保持土壤肥力的价值占比最高,达到 75%以上^[18]。水资源供给结构性矛盾突出,生态用水比例低,水土资源不匹配。

(3) 人类活动和气候变化灾害风险不容忽视,生态效应具有空间分异和尺度特征,需要考虑生态系统时空演变特征。

北方防沙带人类开发活动和资源利用监督管理缺乏,区域矿产资源丰富,草原超载、露天采矿和耕地滥垦仍较多,对生态系统破坏问题突出。气候变化主要表现在极端气候频发,高温和强降雨等产生较大的风险,虽然目前我国荒漠化地区年均降水量总体呈弱增加趋势,但存在区域差异。研究表明,受人类活动和气候变化影响,屏障带生态系统格局相对稳定,自然生态系统面积呈增加趋势,但是农田、森林、草地之间转换较为频繁,各分屏障带表现有较大差异^[17]。沙尘暴较为频繁的区域分布于河西走廊和阿拉善高原、南疆盆地南缘及内蒙古中部^[12]。

(4) 防治与治理提升了生态系统服务,但成效需要巩固,任务艰巨。

研究表明,内蒙古东部防风固沙总量呈总体上升趋势,主要归功于该地区实施的一系列生态工程^[6, 19-20]。鄂尔多斯(位于北方防沙带)生态系统提供的防风固沙服务使得下风向的受益地区降尘量减少了约 $2.87 \times 10^8 \text{ t}$,受益区面积约 $1.66 \times 10^6 \text{ km}^2$,约 5.08×10^8 人受益^[15]。京津风沙源土地利用变化情形风蚀面积总体减少,尤其是 2010—2015 年间减小了 4.10%,说明京津风沙源治理工程发挥了重要作用^[21]。但目前已经治理的沙化土地中,初步治理和中等治理的占国土总面积的 90%以上,并存在大量沙化趋势的土地,需进一步巩固和提升治理成效^[2]。

(5) 公众参与意识薄弱,保护与发展的矛盾突出,人类福祉需要提升。

公众参与对北方防沙带保护修复起着至关重要的作用,目前仍缺乏公众的积极有效的参与,大多数公众仍处于观望状态,主要原因是公众缺乏对生态环境问题的科学性理解和认识,参与建设的渠道不足,与政府互动畅通的有效平台还未搭建成熟,信息公开机制、环保激励机制和法律保障机制不完善,影响了公众参与的积极性、主动性和创造性。北方防沙带的协调保护与发展,需要考虑到区域产业发展对资源依赖程度,以及当地居民生计的可持续问题^[22]。

1.3 生态保护修复主攻方向

基于《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035 年)》,北方防沙带重点工程包括京津冀协同发展生态保护和修复、内蒙古高原生态保护和修复、河西走廊生态保护和修复、塔里木河流域生态修复、天山和阿尔泰山森林草原保护和三北地区矿山生态修复(图 2)。主要是以推动森林、草原和荒漠生态系统的综合整治和自然恢复为导向,全面保护森林、草原、荒漠、河湖、湿地等生态系统,持续推进防护林体系建设、退化草原修复、水土流失综合治理、京津风沙源治理、退耕还林还草,深入开展河湖修复、湿地恢复、矿山生态修复、土地综合整治、地下水超采综合治理等,进一步增加林草植被盖度,增强防风固沙、水土保持、生物多样性等功能。在生态保护与修复过程中,突出沙化土地封禁保护,强化禁垦(樵、牧、采)、封沙育林育草、网格固沙障等建设;落实禁牧休牧制度,促进草原休养生息,执行原生沙漠和原生植被封禁保护制度,在主要风沙口、沙源区和沙尘路径区推行冬季免耕留茬制度等,相关的制度、技术和措施符合基于自然的解决方案的基本理念。

2 基于自然的解决方案的基本原则

2.1 NbS 概念框架

NbS 就是采取行动保护、养护、恢复、可持续利用和管理自然或经改造的陆地、淡水、沿海和海洋生态系

统,以有效和适应性地应对社会、经济和环境挑战,同时对人类福祉、生态系统服务、复原力和生物多样性产生惠益^[23],作为一个整体性和系统性引领下的理念,旨在保护、持续性管理、修复自然或改善生态系统的行动,以高效解决社会挑战,比如气候变化、粮食安全、水安全、人类健康、自然灾害、社会和经济发 展、生态环境退化与生物多样性丧失等问题,同时还旨在提供人类福祉和生物多样性带来的福利,可以认为是所有以自然为基础、为环境和人类带来利益的各种相关做法的统称^[24]。NbS 是积极地利用生态系统的服务功能,应对人类社会面临的重大危机与风险,从而助力实现可持续发展目标(SDGs)的一个整体概念(图3)。



图3 基于自然的解决方案概念框架^[22]

Fig.3 Conceptual Framework of Nature-based Solutions

2.2 NbS 的准则和指标体系

世界自然保护联盟(IUCN)提出了 NbS 实施的 8 项准则和 28 项指标^[25],在具体项目实施过程中,可以依据 NbS 的原则使项目规范化,并鼓励项目管理者根据各项指标对 NbS 项目进行自我评估和改进,确保项目的科学性、合理性与包容性,NbS 包括了一系列的基于生态系统的手段,比如其基于生态系统的适应(EbA)、基于生态系统的灾害风险减缓(Eco-DRR)、自然或基于自然的基础设施(EI)、绿色基础设施(GI)和基于自然的气候解决方案(NCS),核心理念包括了自然为本、系统思维、多目标协同、尺度匹配和适应管理,也包括基于生态系统的原则在农业实践、粮食系统和水资源管理方面的应用^[26]。

2.3 NbS 与国土空间保护与修复

《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035 年)》和《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》的颁布,进一步引领了国土空间生态保护修复工作的实施,NbS 所提倡的核心理念、准则和相关的方法、工具和措施,对推动保护与修复具有重要的启示作用和借鉴意义。NbS 是遵循自然演变或自然演替的路径,采取保护、修复或重建的辅助措施开展生态保护、修复和重建工作,相关指南也强调了对不同生态系统受损程度开展不同修复路径。NbS 中的景观尺度、生态系统尺度以及场地尺度三个层级对应指南的项目区尺度、保护修复单元尺度、子项目尺度。NbS 更多的强调和支撑生态系统的稳定性、可持续性和服务性,这与目前我国国土空间生态保护修复工作中,强调生物多样性保护,重视生态成效评估等具有很高的契合度。

3 北方防沙带生态保护修复工程中的自然解决方案理念

北方防沙带建设的目标是防治荒漠化,治理京津冀风沙源头,改善生态环境,保障区域可持续发展,这与 NbS 解决社会挑战,实现人与自然和谐共生的理念高度契合。具体来说,两者在以下几个方面目标一致。1) 解决重大社会挑战。防沙带建设解决了北方地区严重的荒漠化问题;NbS 也强调解决气候变化、生物多样性流失等社会挑战。2) 系统思维。防沙带建设需要考虑林草水土综合配置,以提高生态系统服务功能;NbS 强调整体系统优化。“生命共同体”“尊重自然、顺应自然、保护自然”已日益成为国土空间规划以及生态保护修复工作的共识性理念。3) 生态本位。防沙带恢复和重建了生态系统,NbS 强调保护生态系统完整性。4) 多目标协同。防沙带建设既解决了当地的生态问题,也提高了人居环境;NbS 也能实现多重目标。NbS 涵盖了“生态系统修复”“生态系统保护”“生态系统管理”“解决特定问题”和“基础设施建设”五大范畴^[21]。5) 空间匹配。防沙带根据本地气候、地形设计样带分布;NbS 强调空间尺度匹配。国家政府从“十一五”起就越来越关注国家生态功能区战略,生态屏障建设作为区域尺度上提升生态功能的重要途径,能够有效减轻各种自然灾害带来的财产损失,能够为国家和区域提供生态安全保障^[12]。6) 过程管理。防沙带建设需要配套管护措施促进林草恢复,NbS 提出适应性管理。

北方防沙带由于空间跨度大,生态系统复杂,生态因子多元化,其内部存在复杂的生态过程,而 NbS 是基于证据的方法,建立在对特定生态系统的深入了解基础之上,实施 NbS 需要充分了解其结构和生态过程。因此,从 NbS 内在的因素复杂的耦合机理方面,研究重点生态区的山水林田湖草沙要素间生态耦合机制及其生态系统的稳定性维持机理是开展生态修复实施的科学基础。北方防沙带生态系统质量和稳定性是发挥生态屏障功能的基础,也是提升生态系统服务的基础,有利于生态屏障的可持续性,NbS 围绕应对可持续发展挑战,通过管理生态系统服务和自然资本,并利用自然以应对社会-经济-环境三者耦合的可持续发展的挑战,在不同区域的人地系统耦合关系,能够有效链接知识-科学-决策。因此,从 NbS 内在因素关联、主导生态系统服务提升、生态系统稳定性维持和可持续性方面,北方防沙带体现了 NbS 的理念。NbS 相关准则和屏障建设在机理、实施路径和逻辑体系上存在密切的耦合关系。从生态屏障的机理上,“格局-过程-尺度”是生态屏障建设的理论基础,也是景观生态学原理在 NbS 的体现。“两屏三带”是生态安全格局的总体框架,是宏观尺度上生态和社会经济系统的空间布局,不同生态系统在空间的配置和连接性等对生态屏障的功能至关重要,NbS 考虑景观的总体格局,采取系统性、整体性来保护和恢复自然。而格局涉及到生态系统和社会经济系统之间的相互作用和反馈,生态屏障的功能(如碳汇、水源保护和生物多样性保护)可以通过生态过程(如能量流动、物质循环和生物互作用)来维持,而 NbS 强调生态过程的完整性和生态系统韧性,关注生态系统的自然过程,重视景观尺度的生物多样性、构成、结构、功能、连通性和外部威胁的评估。从尺度上来看,生态屏障格局和过程在不同空间和时间尺度上具有显著差异,国家尺度的两屏三带,在同一屏障带内,也会因为自然地理条件差异而表现出不同的功能,NbS 关注的尺度也可以从小尺度的国土空间管理和生态系统恢复到大尺度的气候变化缓解和适应措施,选择合适的尺度是 NbS 的重要的标准。

“服务-价值-福祉”主线贯穿生态保护与修复的实施路径,生态屏障具有生物多样性保育功能和供给、调节等生态系统服务能力,如水源涵养、土壤保持、防风固沙等生态服务,也会形成生态产品,从而包括市场价值或非市场价值的内容,通过提供生态服务和创造价值,生态屏障可以增强人类的福祉。例如,生态屏障可以提高水源的稳定性和质量,从而提高人类的健康和生活质量。而 NbS 强调不同的生态系统的自然经济价值和非经济价值,鼓励利用生态补偿来激励自然保护,进而提高人与自然和谐共生的福祉。

“保护-修复-管理”是 NbS 的方案体系,也是生态屏障建设的逻辑体系,NbS 接受自然保护的规范和原则,强调优化设计和经济可行性的生态修复,重视基于证据的适应性管理,识别和处理短期经济利益和长期、全部的生态系统服务的未来选择之间的权衡,总体的行动设计是动态的体系。我国生态屏障建设中,保护是基础,通过规划等手段划定生态红线、重点生态功能区,修复和保护在生态屏障建设中相辅相成,修复通过识别生态

系统退化的关键区与优先区,以提升主导生态系统服务为目标开展修复,而生态屏障建设作为我国的长期策略,需要通过科学研究、监测评估和适应性管理等手段实现。

总体上,生态屏障和 NbS 实施中,都是多层面、多尺度和多过程的动态系统,需要通过“格局-过程-尺度”机理、“服务-价值-福祉”路径和“保护-修复-管理”体系的理论框架进行研究和实践(图 4)。因此,北方防沙带生态安全屏障可以说是中国的 NbS 实践,对于国际上 NbS 的建设 also 具有重要的借鉴意义。

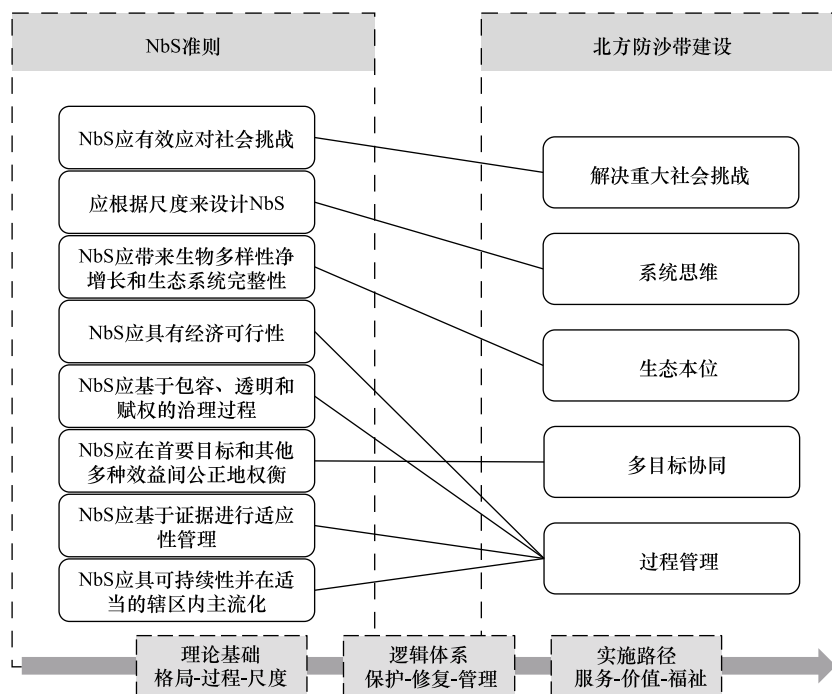


图 4 生态屏障建设体系与基于自然解决方案(NbS)理念的耦合逻辑框架

Fig.4 Logical framework for the coupling of ecological barrier construction system and Nature-based Solutions concept

4 自然解决方案理念应用于具体案例工程启示

NbS 原则优化工程的实施效果和稳定性的同时,也促进人与自然的和谐共生,对于不同工程实践,往往从三个方面来刻画其不同类型,即涉及多少生物多样性及生态系统的工程化程度、能够提供多少生态系统服务和涉及多少的利益相关者群体^[27]。因此,利用回顾性分析北方防沙带具体案例工程,可以对 NbS 应用于实践的路径及其成效有更好的理解。

4.1 内蒙古乌梁素海流域生态保护修复工程

乌梁素海流域地处内蒙古西部巴彦淖尔市境内,西连乌兰布和沙漠,南临黄河,东部毗邻乌拉山国家森林公园,北部与阴山山脉和乌拉特草原相接,流域总面积约 1.63 万 km²。乌梁素海是中国第八大淡水湖,是黄河流域最大的功能性湿地,也是荒漠-半荒漠地区罕见的湿地,是“北方防沙带”的关键地区,承担着调节黄河水量、保护生物多样性、改善区域气候等重要功能。而流域内的河套灌区也是中国三大灌区之一和重要的商品粮油生产基地,对于保障国家粮食安全也至关重要^[28]。在此背景下,应用 NbS 有效推进了乌梁素海流域社会-经济-生态协同发展。

在项目规划设计中已明确“实现乌梁素海流域生态环境持续改善与绿色高质量发展,提升‘北方防沙带’生态系统服务功能,保障黄河中下游水生态安全”的目标,即协同应对经济与社会发展、食品安全、水安全、环境退化与生物多样性丧失 4 类社会挑战。

项目充分根据尺度进行设计,根据流域内不同的自然地理单元和主导生态系统类型,分成乌兰布和沙漠、

河套灌区农田、乌拉山、阿拉奔草原、环乌梁素海生态保护带、乌梁素海水域 6 个生态保护修复单元,形成了“一带、一网、四区”的生态安全格局,通过划分土地沙化生态治理修复单元、退化草原生态保护修复单元、地下水超采治理修复单元,系统开展退耕还林还草与草原生态修复、矿山生态治理与植被修复、小流域综合治理与植被修复、沙化土地综合治理、林地防风固沙功能提升、退耕还草与草原生态修复、生物多样性保护、水资源节约与再利用、河湖湿地保护和修复等“十类工程”。

通过项目实施,带来了生物多样性净增长和生态系统完整性,乌梁素海流域生态环境质量改善,生物多样性提升。在项目实施中创新采用工程总承包(EPC)模式统筹运作,同时撬动社会资金,创新融资模式,实现了市场化运作与资金自平衡,具有充分的经济可行性。区域内推动产业生态化,创建并全面打响“天赋河套”农产品区域公用品牌,同时发展现代农牧业、清洁能源、数字经济、生态旅游和生态水产养殖,“天赋河套”品牌开启绿色高质量发展新引擎,实现了社会-生态-经济的协同发展。同时,项目助推巴彦淖尔进入流域多要素系统治理提升生态功能的生态文明建设 2.0 时代,并积极向人与自然和谐共生的生态文明建设 3.0 时代发展,推进了项目的适应性管理与主流化进程。

4.2 新疆阿克苏河流域柯柯牙生态治理工程

柯柯牙位于天山南麓,世界第二大沙漠塔克拉玛干沙漠北缘,处于阿克苏市郊。柯柯牙是阿克苏市城区风沙的主要来源,风沙危害区域农田,人民的健康和生产生活造成极大影响。同时,沙漠不断向阿克苏城区扩张,对城区造成威胁。为根治风沙危害,开展了柯柯牙生态治理工程。通过修渠引天山雪水、平地、修路、挖植树沟、灌木压碱、植树造林建设了宽 46km、长 57km 的生态与经济林带,荒漠绿化面积达 769km²,累计栽植树木 1337 万株,辐射带动了 3000km² 林果生产,建成 4 个超过 600km² 的绿化工程。区域发展的特色林果种植,生产薄皮核桃、苹果、红枣、香梨等,并进一步发展果品深加工,实现了生态与经济效益的协同发展^[29]。

从柯柯牙 30 余年的造林工程的实施来看,柯柯牙生态环境有了极大的提升,从荒漠戈壁向生态绿洲的转变,成为西北地区工程典型示范。造林工程的成效的根本原因在于通过生态环境治理改善了当地人居环境,提供的生态系统服务使得当地居民广泛受益,提升了经济发展水平。因此,柯柯牙生态治理首先遵循了以应对社会挑战的需求导向的基本原理,在柯柯牙工程规划、决策过程中,从政府主导的第一期防护林工程开始,转变为各行业管理部门出资建设第二期防护林、到第三期国营农林企业和外来投资企业的“多元参与”的模式推进造林工程,再到第四期“市场主导”模式的招商引资的社会投资建设。通过系统设计、资源统筹、整体实施、过程管理、绩效评估,实现了全民参与、建管一体的长效发展机制^[30]。

5 讨论与结论

经过京津风沙源治理工程、三北防护林体系建设工程、退牧还草工程、沙区自然保护区及沙化土地封禁保护区、山水林田湖草沙一体化生态保护修复等一系列生态工程建设,当前我国北方防沙带生态系统质量和功能已取得较大提升,沙区生态环境逐步好转,水土流失治理成效显著,森林草原功能稳步提升,民生得到有效改善。但北方防沙带依然面临生态屏障功能不稳定、风沙危害依然严重、保护与发展矛盾突出、综合治理体系不健全等一系列问题^[31]。当前,NbS 在我国生态保护修复与生态文明建设中受到了广泛认可与应用^[32-34],运用于我国北方防沙带生态屏障建设也具有极大的发展潜力。

在实施尺度方面,结合“双重规划”中《北方防沙带生态保护和修复重大工程建设规划(2021—2035 年)》的总体规划和要求,探索应用 NbS 实现北方防沙带空间保护格局全面构建、生态功能和稳定性整体提升的路径。而在项目尺度,当前学者已总结一系列我国生态保护修复中契合 NbS 理念的优秀实践案例^[28,35-36],但从项目规划阶段开始应用 NbS 理念与技术,直至项目完成、后期管护阶段的项目尚无先例。在我国北方防沙带这一特殊的生态脆弱区域,进一步探索如何在生态改善的同时兼顾粮食安全、水安全、经济发展等多种社会挑战,基于 NbS 准确识别社会挑战并实现不同效益之间的权衡具有重要意义。

北方防沙带区域位于我国西北地区,总体属于经济欠发达集中区,受自然条件、发展阶段、经济布局、产业

结构等因素影响,人口、资源与环境矛盾依然突出。在理论机制方面,仍需要对于北方防沙带的屏障功能进行深入研究,从小尺度上,已有研究更多是从防沙的差异性开展分析,缺乏生态保护修复背景下 NbS 的要素耦合机理研究^[37]。景观和区域尺度上,更多利用遥感等方法揭示区域生态质量的变化,也有研究分析生态修复对生态系统服务的影响与驱动因子的识别^[38-40]。但对于 NbS 的贡献率剖析较少,也缺乏相关的成效评价和人类福祉相关的研究,NbS 的具体实施路径仍需要进一步探究。虽然部分区域结合生态建设初步探索形成了生态产业化和产业生态化的发展模式,产生了一定的经济效益,但总体来说生态特色产业竞争力不强,产业链不完善,附加值不高,如何结合 NbS 充分发展特色生态产业,有效促进区域可持续发展也仍待进一步探索。

本文通过对 NbS 理论与标准,以及我国北方防沙带建设的理论基础与逻辑体系的分析,可以说北方防沙带生态屏障建设从本质上是具有中国特色的 NbS,具有系统性、综合性和多尺度特征。从北方防沙带自然禀赋差与基础脆弱、生态保护与资源利用矛盾突出、人类活动和气候变化灾害风险不容忽视、生态保护修复成效需要巩固且任务艰巨等生态问题入手,深入剖析了 NbS 与北方防沙带生态屏障之间的耦合关系,从“格局-过程-尺度”机理、“服务-价值-福祉”路径和“保护-修复-管理”体系角度对 NbS 实施准则和北方防沙带生态屏障进行了阐述;结合内蒙古乌梁素海流域、新疆阿克苏河流域柯柯牙生态治理工程等基于自然解决方案的北方防沙带案例分析,总结了 NbS 在北方防沙带生态屏障建设中的不同尺度的规划、应对多重社会挑战、生态产业发展等方面的发展趋势和面临的挑战。

参考文献 (References):

- [1] 王佳雪,刘春芳,张世虎. 北方防沙带典型县域生态安全格局研究. 生态学报, 2022, 42(10): 3989-3997.
- [2] 曾国盛,王翠萍,李锋,刘政,孙涛. 第六次全国荒漠化和沙化调查主要结果及分析. 林业资源管理, 2023(1): 1-7.
- [3] 韩柳,王静璞,王光镇,王周龙,吴孟泉. 中国北方风蚀区风速变化时空特征分析. 干旱区地理, 2018, 41(5): 963-971.
- [4] 王晓峰,勒斯木初,张明明. “两屏三带”生态系统格局变化及其影响因素. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2138-2148.
- [5] 京津风沙源治理工程二期规划思路研究项目组. 京津风沙源治理工程二期规划思路研究. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [6] 刘利民,王婷婷,李秀芬,谢遵博,武金洲,宋立宁. 近 15 年内蒙古防沙带防风固沙功能时空变化特征. 生态学杂志, 2021, 40(11): 3436-3447.
- [7] 罗明,于恩逸,周妍,应凌霄,王军,吴钢. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略. 生态学报, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [8] 李庆旭,张彪,王爽,谢高地. 京津风沙源区 2000—2015 年植被覆盖状况的区域差异研究. 地学前缘, 2018, 25(5): 298-304.
- [9] 李艳娇. 陕北地区土地利用变化对防风固沙效益的影响. 西部大开发: 土地开发工程研究, 2020, 5(3): 56-63, 70.
- [10] 张彪,李庆旭,王爽,谢高地. 京津风沙源区防风固沙功能的时空变化及其区域差异. 自然资源学报, 2019, 34(5): 1041-1053.
- [11] Cohen-Shacham E, Andrade A, Dalton J, Dudley N, Jones M, Kumar C, Maginnis S, Maynard S, Nelson C R, Renaud F G, Welling R, Walters G. Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. Environmental Science & Policy, 2019, 98: 20-29.
- [12] 张照营. 北方防沙屏障带防风固沙生态系统服务功能变化评估[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [13] 马秀梅. 内蒙古推进北方防沙带生态保护和修复任重道远. 内蒙古林业, 2022(6): 25-26.
- [14] 王玉宽,邓玉林,彭培好,范建容. 关于生态屏障功能与特点的探讨. 水土保持通报, 2005, 25(4): 103-105.
- [15] 潘开文,吴宁,潘开忠,陈庆恒. 关于建设长江上游生态屏障的若干问题的讨论. 生态学报, 2004, 24(3): 617-629.
- [16] 张彪,王爽. 锡林郭勒盟风沙源治理区防风固沙功能变化评估. 生态与农村环境学报, 2020, 36(3): 291-299.
- [17] 苏凯. 北方国家生态屏障区生态系统格局、质量、服务及其辐射效应评估研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [18] 张燕婷. 北方防沙带土地利用格局演变特征及防风固沙功能变化评估研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2014.
- [19] 江凌. 中国生态系统防风固沙功能时空变化分析[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.
- [20] 何旭宁,于皓,王宗明. 基于多源数据的内蒙古东部地区防风固沙能力变化研究. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(7): 138-141, 144.
- [21] 赵晓萌,程宏,蒋宁,邹学勇,吴波,蒋玲梅,张恺笛,贺伟伟. 京津风沙源土壤风蚀时空格局及其演化. 科学通报, 2023, 68(S1): 238-253.
- [22] 王毅,巫金洪,储诚进,李添明. 中国生态安全屏障体系建设现状、主要问题及对策建议. 生态学报, 2023, 43(1): 166-175.
- [23] 联合国环境规划署. 支持可持续发展的基于自然的解决方案. 内罗毕: 联合国环境规划署, 2022.
- [24] 王志芳,简钰清,黄志彬,付宏鹏. 基于自然解决方案的研究视角综述及中国应用启示. 风景园林, 2022, 29(6): 12-19.
- [25] 世界自然保护联盟. IUCN 基于自然的解决方案全球标准. 格兰德: 世界自然保护联盟, 2021.
- [26] International Union for Conservation of Nature. Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges. Gland: IUCN, 2016.

- [27] Eggermont H, Balian E, Azevedo J M N, Beumer V, Brodin T, Claudet J, Fady B, Grube M, Keune H, Lamarque P, Reuter K, Smith M, van Ham C, Weisser W W, Le Roux X. Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 2015, 24(4): 243-248.
- [28] International Union for Conservation of Nature. *Towards Nature-based Solutions at Scale*. Gland: IUCN, 2023.
- [29] 韦香惠. 新疆柯柯牙:在戈壁荒漠上书写植绿奇迹. (2023-02-08) [2023-10-05]. <https://www.chinanews.com/sh/2023/02-08/9949550.shtml>.
- [30] 宋薇, 程平. 新疆现代林业发展的内在逻辑与实践创新——柯柯牙造林工程模式. *林业建设*, 2022(4): 35-40.
- [31] 国家林业和草原局, 国家发展改革委, 自然资源部, 水利部. 北方防沙带生态保护和修复重大工程建设规划(2021-2035年). 2021-12-30. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/14/content_5668161.htm.
- [32] 徐苡珊, 赵文武, 韩逸, 胡宝清. 后疫情时代生态保护与可持续发展——中国生态文明与可持续发展 2021 年学术论坛述评. *生态学报*, 2022, 42(21): 8935-8939.
- [33] 韩宇, 刘焱序, 刘鑫. 面向生态产品价值实现的生态修复市场化投入研究进展. *生态学报*, 2023, 43(1): 176-188.
- [34] 王金洲, 徐靖. “基于自然的解决方案”应对生物多样性丧失和气候变化: 进展、挑战和建议. *生物多样性*, 2023, 31(2): 231-236.
- [35] 李奕杰, 王金洲, 林剑, 林荣. 基于自然的解决方案促进工业园区减污降碳协同增效——以温岭市东部产业集聚区为例. *环境保护科学*, 2023, 49(3): 8-12, 56.
- [36] 李芹, 王宇, 李笠, 张华, 王波. 喀斯特高原湖泊流域基于自然解决的生态修复方案——以云南九大高原湖泊为例. *中国岩溶*, 2023, 42(3): 391-401.
- [37] Wang R D, Li Q, Zhang C L, Wang Z T, Guo Z L, Chang C P, Li J F. Comparison of dust emission ability of sand desert, gravel desert (Gobi), and farmland in Northern China. *CATENA*, 2021, 201: 105215.
- [38] Chen A, Yang X C, Guo J, Xing X Y, Yang D, Xu B. Synthesized remote sensing-based desertification index reveals ecological restoration and its driving forces in the northern sand-prevention belt of China. *Ecological Indicators*, 2021, 131: 108230.
- [39] Chen A, Yang X C, Guo J, Zhang M, Xing X Y, Yang D, Xu B, Jiang L W. Dynamic of land use, landscape, and their impact on ecological quality in the northern sand-prevention belt of China. *Journal of Environmental Management*, 2022, 317: 115351.
- [40] Ma S, Wang H Y, Wang L J, Jiang J, Gong J W, Wu S, Luo G. Evaluation and simulation of landscape evolution and its ecological effects under vegetation restoration in the northern sand prevention belt, China. *Catena*, 2022, 218, 106555.