

刘文平, 宋子亮, 李岩, 孔凡婕. 基于自然的解决方案的流域生态修复路径: 以长江经济带为例 [J]. 风景园林, 2021, 28 (12) : 23-28.

# 基于自然的解决方案的流域生态修复路径——以长江经济带为例

## Application of Nature-Based Solutions in Ecological Restoration of Watershed: A Case Study of the Yangtze River Economic Belt

刘文平 宋子亮 李岩 孔凡婕

LIU Wenping, SONG Ziliang, LI Yan, KONG Fanjie

开放科学 (资源服务)  
标识码 (OSID)



中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2021)12-0023-06

DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.12.0023.06

收稿日期: 2021-06-21

修回日期: 2021-10-21

刘文平 / 男 / 博士 / 华中农业大学园艺林学学院副教授、硕士研究生导师 / 本刊特约编辑 / 研究方向为景观服务与地景规划  
LIU Wenping, Ph. D., is an associate professor and master supervisor in the College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, and a contributing editor of this journal. His research focuses on landscape service and landscape planning.

宋子亮 / 男 / 华中农业大学园艺林学学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计  
SONG Ziliang is a master student in the College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University. His research focuses on landscape planning and design.

李岩 / 男 / 华中农业大学园艺林学学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计  
LI Yan is a master student in the College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University. His research focuses on landscape planning and design.

孔凡婕 / 女 / 硕士 / 自然资源部国土整治中心工程师 / 研究方向为生态修复与国土综合整治  
KONG Fanjie, Master, is an engineer of the Center for Land Consolidation, Ministry of Natural Resources. Her research focuses on ecological restoration and territorial consolidation.

**摘要:** 修复受损退化的生态系统已成为当前应对全球气候变化和社会挑战的一个紧迫的优先事项。然而, 过去几十年以小尺度工程实施和单一生态恢复目标为导向的修复行动, 忽略了社会经济多项驱动与胁迫的共同影响, 导致生态退化趋势未能得到有效遏制。如何修复生态系统并同时促进多利益相关方实现可持续发展, 仍然是当前生态修复面临的主要挑战。以长江经济带为研究区, 探讨了可持续发展目标下流域生态修复面临的问题与挑战, 并遵循基于自然的解决方案提出了一个包含“准则-目标-路径”的生态修复框架, 构建了“生态修复行动-生态系统功能与服务提升-社会经济福祉共赢”的生态修复路径, 进而提出构建全域绿色基础设施网络、分类推进退化生态系统修复、科学实施沿江国土空间综合整治的生态修复行动策略, 以期为系统解决长江经济带生态修复需求并应对社会经济挑战提供参考。

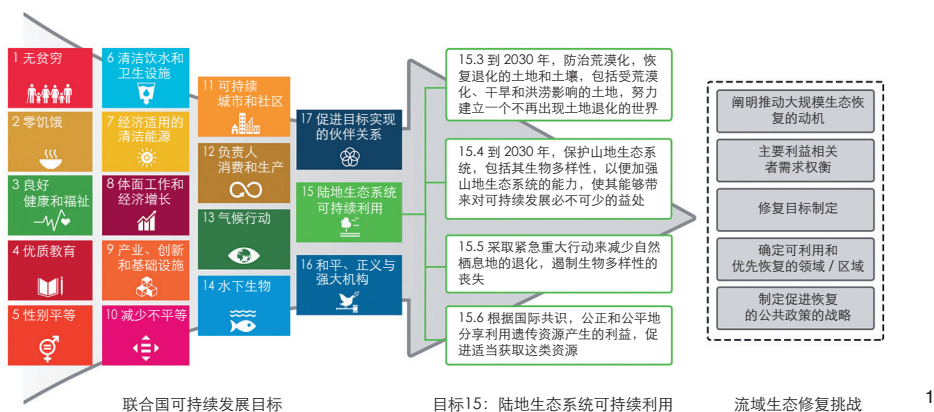
**关键词:** 基于自然的解决方案; 生态修复; 可持续发展; 流域; 长江经济带

**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号 32171858); 中央高校基本科研业务费专项基金 (编号 2662019PY046, 2662021JC002)

**Abstract:** Restoring damaged and degraded ecosystems has become an urgent priority in addressing the global climate change and social challenges. However, the restoration actions over the past decades, featuring small-scale project implementation and single ecological restoration goal, have neglected the co-effects of socio-economic drives and stress, which result in the failure to effectively curb the trend of ecological degradation. How to fix the ecosystem and promote the sustainable development of multiple stakeholders remains the main challenge facing ecological restoration. Taking the Yangtze River Economic Belt (YREB) as the study object, this research analyzes the issues and challenges of watershed ecological restoration under the sustainable development goal, and proposes an ecological restoration framework that includes "standard-goal-path" with the Nature-based Solutions (NbS). It also constructs the path of ecological restoration that comprises ecological restoration operations, improvement of ecosystem functions and services, and win-win results of social and economic well-being. Furthermore, this research proposes the action strategies for ecological restoration in the YREB, including the construction of an overall green infrastructure network, promotion of the restoration of degraded ecosystems by different categories, and scientific implementation of the comprehensive renovation of territorial space along the Yangtze River. It is expected to provide reference for systematically solving the ecological restoration needs and socio-economic challenges in the YREB.

**Keywords:** Nature-based Solutions; ecological restoration; sustainable development; watershed; the Yangtze River Economic Belt (YREB)

**Fund Items:** The National Natural Science Fund of China (No. 32171858); The Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2662019PY046, 2662021JC002)



1 可持续发展目标与生态修复挑战  
Sustainable development goals of UN and ecological restoration challenges

随着全球气候变化和人口增加,生物多样性丧失、土地退化和污染等问题激增,人类福祉与社会公平等问题也随之凸显<sup>[1]</sup>。2020年联合国经济及社会理事会发布的《可持续发展目标进展》<sup>[2]</sup>指出,全球森林面积持续减少,物种灭绝的风险在过去30年里提升了约10%,保护和可持续利用陆地生态系统仍面临严峻挑战。人类和地球上的其他生命可能正面临着前所未有的生存挑战,生态系统修复从未像现在如此迫切<sup>[3]</sup>。修复受损退化的生态系统已成为全球倡议中一个紧迫的优先事项。

为防止、阻止并扭转陆地和海洋生态系统退化,进而消除贫困、应对气候变化并防止大规模生物多样性丧失,2019年联合国大会决议通过了《联合国生态系统恢复十年(2021—2030年)》倡议,并于2021年6月正式启动。该倡议鼓励在全球、地方和个人3个层面加速可持续解决方案的实施以应对全球多项重大挑战,包括贫困、饥饿、性别不平等,以及资金短缺等<sup>[4]</sup>。这一倡议呼吁所有人共同致力于实现联合国可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs),动员更多参与者努力消除贫困、促进和平、共同发展。然而,由于生态系统恢复多项挑战之间的相互影响,这一雄心勃勃的行动目标在生态环境保护和社会经济发展之间的权衡问题上迎来了新的复杂性挑战。

在过去的几十年里,生态修复往往是对单一目标的解决方案,且通常是在较小的空间和时间尺度上实施,几乎没有考虑生态

恢复多项挑战之间的相互影响<sup>[5]</sup>。这也导致了已实施的生态保护修复行动没有达到扭转生态退化的效果。近年来,生态修复研究逐渐转向山水林田湖草综合治理,在修复对象、目标、修复分区、重点工程部署等方面均进行了较多探索,如从工程修复转向自然恢复为主的思维与路径<sup>[6-7]</sup>、基于地理单元完整性的生态修复区域识别方法<sup>[8]</sup>、开展源头治理与预防的综合修复思路探究<sup>[9-10]</sup>等。自2016年起,全国已部署3批25个山水林田湖草生态保护修复试点工程,已有研究对这些试点的生态保护修复思路以及重要生态系统保护修复、生物多样性保护、流域水环境治理等方法与技术<sup>[11]</sup>进行了详细探讨。然而,现有研究对山水林田湖草系统治理的科学内涵认识仍较浅,特别是社会-生态系统之间的耦合关系以及通过系统思维保护修复生态系统的方法与路径仍不清晰。如何协调生态和社会经济活动,且在降低风险和保护生物多样性的同时促进多利益相关方实现可持续发展,仍然是当前生态修复面临的主要挑战。这意味着迫切需要从社会-生态系统整体视角,创新生态修复方法来应对多方挑战。

基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NbS)代表了耦合自然-生态系统综合解决可持续发展目标下生态修复挑战的新方法<sup>[12]</sup>。NbS被自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)定义为保护、可持续管理和恢复自然与提升生态系统功能的行动<sup>[13]</sup>,被欧洲委员会定义为受

自然启发、支持或复制自然的行动<sup>[14]</sup>。这2种定义均强调了NbS通过利用生态系统过程为自然和人类提供若干共同利益以应对多重社会挑战,反映出NbS具有同时实现多个可持续发展目标的潜力<sup>[15]</sup>。如恢复流域上游集水区的天然林,在增加碳固存和生物多样性的同时,还可以大大减小中下游洪峰流量和泥沙淤积,从而保护中下游地区免受洪水侵害<sup>[16-17]</sup>。目前,尽管NbS概念在政府和非政府决策中的应用越来越主流化,但因区域、生态系统类型及社会经济发展水平差异,各国生态修复行动中采用的NbS框架各不相同,适用于宏观尺度流域及跨流域生态修复的NbS路径框架仍不明确。

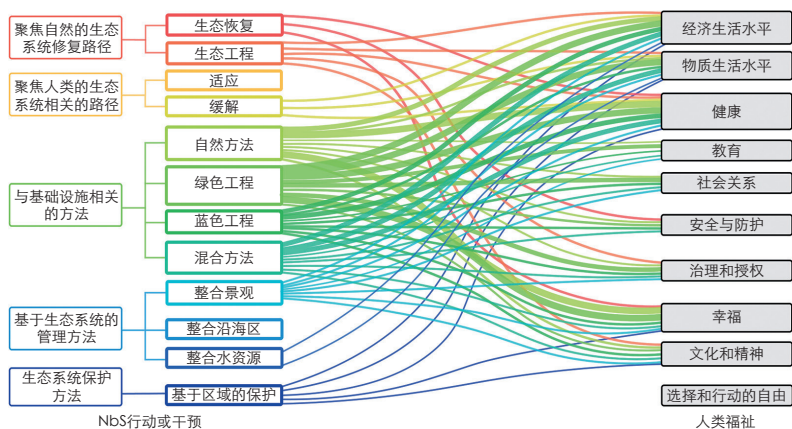
流域是由分水线所包围形成的河流集水区,也往往是社会-经济-自然复合系统,具有自然地理单元和生态系统完整性的特征。在流域尺度上探究协同解决多项挑战的生态修复框架与方法具有明显的优势和重要意义。本研究以长江经济带为研究区,探讨基于NbS系统思维开展流域生态系统协同治理的思路框架。研究的主要目的为:1)提出可持续发展目标下流域生态修复的NbS的路径框架;2)将该框架转化为具体的修复行动。

## 1 流域国土空间生态修复面临的问题与挑战

### 1.1 可持续发展目标与流域生态修复

联合国在2015年9月提出了17个SDGs,其中在生态修复方面提出保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统,并可可持续管理森林,防治荒漠化,制止和扭转土地退化以及遏制生物多样性丧失,到2030年实现退化土地和土壤修复、山地生态系统能力提升等目标<sup>[18]</sup>(图1)。为实现这一目标,《联合国生态系统恢复十年(2021—2030年)》倡议调动全球力量,共同制止并扭转生态系统的衰退,进而改善生计、抵御气候变化、阻止生物多样性崩溃等。这一行动的实施意味着当下迫切需要扩大生态系统修复和保护的规模,从更为宏观和系统的层面遏制和扭转生态退化。

可持续发展目标下的生态修复并不是一个纯粹的“回归自然”的过程,而是一个利



2 NbS 行动与人类福祉的关联关系<sup>[22]</sup>

Association of NbS actions with human well-being<sup>[22]</sup>

用和管理自然生态系统和生物以满足特定人类和社会需求的新课题<sup>[19]</sup>。这意味着生态修复是自然和社会协同发展的基本要求。只有生态恢复行动与人类生计密切相关,生态系统健康与服务才可能持续维持。然而,由于宏观尺度生态系统退化的复杂驱动机制,流域生态修复仍面临着严峻挑战<sup>[5, 20-21]</sup>,包括阐明推动大规模生态修复的动机、主要利益相关者需求权衡、修复目标制定、确定可利用和优先修复的领域或区域,以及制定促进修复的公共政策的战略(图 1)。

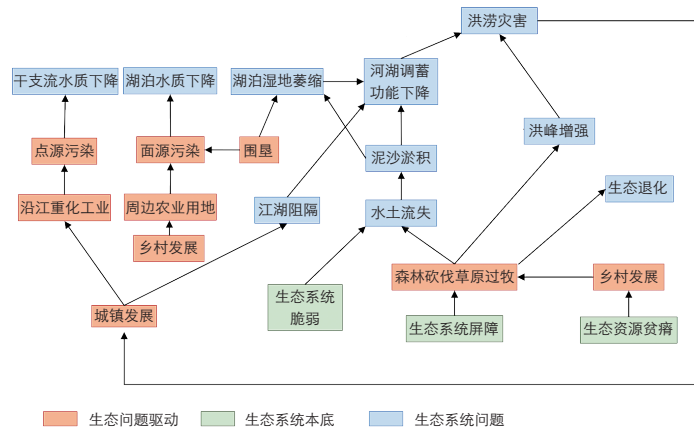
为应对这些挑战,流域生态修复必须破除目前零碎的管理办法,并采取综合的和整体的修复战略。为人类和自然提供多重积极利益的修复行动应成为当前的主流选择。如果生态修复能够同时提高土地生产力,或者可以为利益相关者提供社会经济补偿等,那么流域生态修复将更具吸引力,更具可持续性<sup>[20]</sup>。然而,当前流域生态修复和重建项目多数侧重于高维护、高成本的工程,且极大依赖于外部的资源和资金投入。尽管国内外研究已清晰认识到流域生态修复需将自然与社会经济过程紧密联系起来,但如何理解并利用自然规律实现生态修复,从而促进利益相关方多目标需求实现的路径仍然不清晰。这主要是因为跨尺度生态与社会系统的交互过程的复杂性,探究系统整合自然与人文过程的综合生态修复框架本身就极具挑战。

最新的研究表明, NbS 有潜力为 2030 年

可持续发展目标的实现作出实质性贡献,特别是对可持续发展目标 2 (零饥饿)、目标 3 (良好健康和福祉)、目标 6 (清洁饮水和卫生设施)、目标 11 (可持续城市和社区)、目标 13 (气候行动)、目标 15 (陆地生态系统的可持续利用) 等有直接相关的支持作用<sup>[1]</sup>。Dick 等<sup>[22]</sup>梳理了当前 NbS 行动或干预与主要社会挑战相关的人类福祉之间的关系(图 2),进一步为 NbS 支持生态修复并同时应对社会挑战提供了有力证据。

### 1.2 长江经济带生态修复面临的主要问题

长江经济带是以长江流域为主,贯通中国东中西部的国家重要发展战略区域,覆盖四川、云南、贵州、重庆、湖北、湖南、安徽、江西、浙江、江苏、上海 11 个省市。长江流域是中国重要的生态安全屏障,拥有森林、湿地、草原、农田等多种独特的生态系统。长期以来,由于过度垦殖和毁林开荒,加之山高坡陡、河谷深切、土层薄、降雨强度大,长江上游地区水土流失与石漠化问题严重<sup>[23]</sup>,仅四川省 2019 年就有超过 11 万 km<sup>2</sup> 的水土流失面积<sup>[24]</sup>。除地形地貌特征等引发的土壤侵蚀外,坡耕地开垦、道路建设、矿产开发、城镇扩张、森林砍伐以及中、幼龄林分布普遍,也是导致水土流失的重要原因<sup>[25]</sup>。此外,上游生态屏障区多与经济贫困带重叠,生态保护与恢复压力大,如重庆市的三峡库区生态功能区所在区县(巫山、奉节、云阳)为秦巴山连片特困县;四川长沙贡



3 长江经济带各生态问题及其驱动因素

Ecological problems and their driving factors along the Yangtze River Economic Belt

玛国家级自然保护区、高黎贡山国家级自然保护区等与国家贫困县的重叠面积均超过了 1 000 km<sup>2</sup>。经济贫困与乡村发展是上游地区过度垦殖和森林砍伐的直接驱动力(图 3),如何协调上游生态保护与经济发展之间的关系,已成为当前生态保护修复面临的主要挑战。

长江上游地区水土流失加剧也进一步造成了中下游泥沙淤积、湖泊湿地趋向沼泽化、湖面萎缩等问题,典型代表如洞庭湖。由于从长江及湘、资、沅、澧四水进入洞庭湖的泥沙逐年淤积(每年约 9 600 万 m<sup>3</sup>),洞庭湖的蓄水容积从 1949 年 293 亿 m<sup>3</sup> 下降至 2015 年 179 亿 m<sup>3</sup>,如今西洞庭湖已基本淤积为陆地<sup>[25]</sup>。湖泊、湿地面积的急剧萎缩,不仅导致了长江中下游生态系统的失衡,还使湖泊湿地洪水调蓄功能严重退化,削弱了中下游城市抵御洪涝灾害的能力。

长江中下游地区的城镇扩张与农业围垦也是造成湖面萎缩、河湖关系连通性下降、生态超载的主要因素<sup>[26]</sup>。1995—2015 年,长江经济带内约 2.79 万 km<sup>2</sup> 的水面转化为其他用地类型,其中有 3 086 km<sup>2</sup> 的水面被城镇建设用地所侵占。大量湖泊水面被建设用地侵占,导致重要湖泊水系与长江支流阻隔,连通性下降,目前仅石臼湖等少数几个湖泊与长江自然连通<sup>[27]</sup>。此外,沿江水系部分水质恶化,特别是长江中游干流江西—湖北段、长江下游干流安徽段等。农业生产施用的大量农药化肥产生的面源污染和沿江工矿企业



产生的点源污染是长江水系水质恶化的主要污染源<sup>[28]</sup>。从沿江两侧 5 km 范围内工业企业分布来看,长江上游的重庆市、中游的武汉与九江市以及下游的长三角地区,沿江两侧的工业企业分布密集,长江水污染风险高。此外,沿江城市群生态超载等问题也较明显,特别是成渝城市群、长江中游城市群和长江三角洲城市群地区,进一步对长江流域生态安全造成了较大威胁。

## 2 长江经济带生态修复的 NbS 路径

为有效应对长江上游生态保护修复与乡村社会经济发展之间的矛盾,以及中下游河湖水系治理与城镇发展之间的相互制约,长江经济带生态修复需要在更广泛的跨流域和区域范围内积极探寻利用自然的力量促进生态与社会经济惠益的有效途径。NbS 提供了一个更大范围的解决框架,综合集成了使社会和生态环境广泛惠益的系列干预措施。因此,为了有效地将长江经济带跨流域与区域尺度的生态问题及其驱动关联起来,且为系统整合不同类型生态与社会治理措施提供一个统一的对话基础,笔者提出了一个包含“准则-目标-路径”的生态修复 NbS 框架。其中,NbS 准则致力于建立一个长江经济带生态修复各利益相关方之间一致的对话基础,促进生态修复源头治理与局域修复的整体考虑和综合实施;NbS 目标的明确为不同类型生态问题治理与可持续发展目标之间的潜在权衡与协同提供努力的方向;而 NbS 路径则提出了长江经济带生态修复多方需求系统整合后的具体行动方向。

### 2.1 生态修复的 NbS 准则

随着 NbS 应对多目标挑战的系统思维被各国所接纳并越来越多地应用到实践,IUCN 发布了 NbS 全球标准 8 项准则以帮助不同使用者设计 NbS 项目以及校验其达标情况<sup>[29-30]</sup>。针对长江经济带国土空间现存问题,本研究提出如下生态修复中的 NbS 准则。

准则 1:以生态治理为核心,有效解决社会经济多重挑战。长江上游生态系统退化与中下游洪涝风险增加等问题,很大程度上是由城镇与乡村的社会经济发展驱动所致。因

而,长江经济带生态治理应致力于同时解决生态“病症”和社会经济驱动“病因”等多重挑战,从而促进流域生态系统的健康持续发展。

准则 2:协调跨层级和跨尺度之间的多重影响。长江经济带横跨九省二市,其生态治理既涉及跨省域边界、省域内部跨市域等多个行政区划尺度,也需要应对从生物多样性、生态系统到景观尺度的多层次影响。

准则 3:基于生态系统完整性科学开展生态治理。人类福祉的可持续供给需要依赖健康完整的生态系统。长江经济带生态治理既需要积极推进绿色基础设施网络建设,在跨省域尺度加强对山水林田湖草等要素的统筹,增强流域生态系统的整体性和系统性;同时也需要在遵循流域和自然地理单元完整性的基础上识别重点治理区域,避免治理行动破坏生态系统完整性。

准则 4:探索以自然修复为主、人工修复为辅的低成本治理。长江经济带国土面积大,依靠传统工程思维开展生态治理显然具有较低的经济可行性。坚持自然修复为主、人工修复为辅的原则,积极探索消除生态胁迫并利用降雨、温度等自然力量修复生态的低成本治理方案。

准则 5:鼓励并包容多方利益相关者参与治理。长江经济带生态治理需统筹流域上中下游、山上山下、岸上岸下、城市乡村等多个对象和主体,需要建立公平公正的参与机制鼓励多利益相关方积极协商,从而探索出具有包容性的治理方案。

准则 6:在多目标需求权衡中取得平衡。目前,长江经济带仍处于高耗能、高投入的粗放式发展阶段,特别是沿江两侧大型化工企业对长江生态环境造成了严重威胁,绿色发展与经济增长之间的取舍是长江经济带短期内所面临的不可回避的难题。长江经济带生态治理需在夯实国家生态安全屏障体系的基础上积极探索生态保护与经济增长之间的权衡与协同路径。

准则 7:积极应对生态风险等不确定事件。生态与社会经济系统是动态演化的,长江经济带生态治理需积极考虑未来气候变化、

城镇扩张等对水安全、水平衡和生物多样性等的影响,在生态修复格局确定、重点区域识别等方面应予以充分考虑。

准则 8:积极推进 NbS 在生态修复行动中的主流化地位。在生态修复重点区域以及各省生态修复具体行动中,积极探索将 NbS 有效融入绿色基础设施建设与生态治理行动中,促进 NbS 应用的主流化。

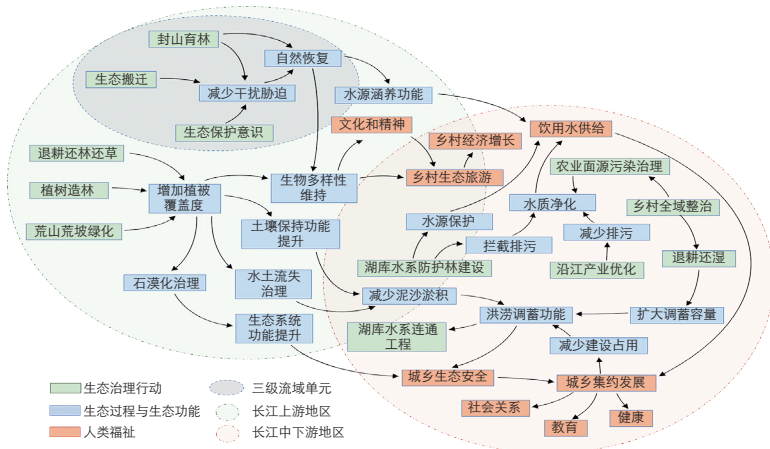
### 2.2 面向多重社会挑战的生态修复目标

基于 NbS 的长江经济带生态修复是一个具有多重目标的修复过程,既要促进上游地区生态系统稳定与中下游地区湖泊湿地等功能恢复,也要保障整个流域城镇与乡村发展更加宜居绿色、集约高效。因而,长江经济带生态修复应统筹考虑区域生态功能提升与社会经济发展(准则 1、7),将生态保护修复与脱贫攻坚、高质量发展、应对气候变化等挑战相结合,在提升上游生态系统稳定性、恢复中下游湖泊湿地生态功能的同时,促进上游农村人口全面脱贫,且以城市群为主体的城镇发展更加绿色宜居,区域发展更加和谐。

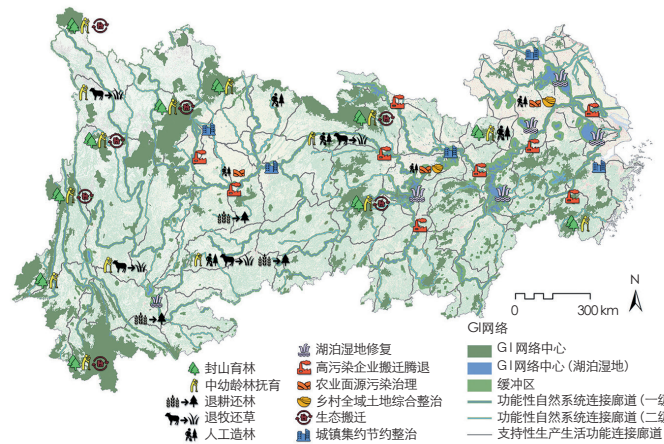
### 2.3 基于 NbS 的系统治理路径

Albert 等<sup>[31]</sup>认为 NbS 可以通过保护、修复或加强绿色和蓝色基础设施来联系不同空间尺度上的自然生态过程,从而促进流域生态系统的综合管理与可持续发展。为实现应对多重社会挑战的治理目标,系统考虑不同要素之间的关联性,长江经济带生态保护修复应综合考虑上游与中下游地区之间的生态恢复行动、生态系统功能与服务提升、社会经济福祉共赢三者之间的关系,构建系统治理路径(准则 2、3,图 4)。全域尺度系统治理路径的构建,将有利于推动以长江水系为主要驱动纽带的跨省域边界生态治理解决方案,对于协调区域生态系统整体保护和跨界治理有积极作用。

加强长江上游生态源头地区的保护修复,不仅可以提升上游水源涵养、水土保持能力,还可以为众多物种提供良好的栖息环境,为乡村发展提供生态旅游的资源本底,从而促进生态与社会经济的共同增长。因此,可以通过封山育林、退耕还草、生态搬迁等方式减少长江上游生态源头地区的人类干扰、消



4 长江经济带生态修复的 NbS 路径  
The NbS path of ecological restoration along the Yangtze River Economic Belt



5 基于 NbS 的长江经济带生态修复措施  
Ecological restoration measures of the Yangtze River Economic Belt based on NbS

除胁迫等，促进生态系统自然恢复（准则 4）；同时，通过生态补偿等方式，鼓励上游地区积极实施植树造林、荒山荒坡绿化等，治理水土流失、石漠化等问题（准则 5），修复现有生态系统，减少土壤侵蚀及泥沙输送，从而保障中下游城市和乡村免受洪水灾害威胁。

减缓湖泊湿地面积萎缩、提升湖库水系洪涝调蓄能力、控制面源与点源污染且促进社会经济绿色发展是长江中下游地区生态修复的重要任务和主要挑战（准则 6）。一方面，严格控制沿江城镇增长边界，减少湖泊湿地水系等被侵占压力；另一方面，实施退耕还湿、退耕还湖以及湖库水系连通行动，修复提升湖库水系雨洪调蓄能力。同时，针对沿江水系生态超载与水质污染等问题，应重点开展沿江两侧 5 km 范围内重化工企业搬迁腾退、沿江大城市集约节约用地整治、农业面源污染防治，以及沿江产业新旧动能转化等行动，从而保障城乡水资源与水生态安全。清洁与安全的水生态环境不仅可以为中下游城乡发展提供健康的生态产品，还可以促进城乡居民良好的社会关系，实现沿江多利益相关者共赢互利。

### 3 基于 NbS 的长江经济带生态修复行动

#### 3.1 构建绿色基础设施网络

绿色基础设施（Green Infrastructure, GI）网络是连接流域水系、湖泊湿地、自然山林、

动物栖息地，以及其他自然区域等的生态网络，是全面系统性修复退化生态系统、提升生态服务的重要指引，也是协调自然生态保护与城镇建设发展用地关系的重要基础。以长江主要干流水系和主要交通干道为脉络，联系大型自然保护区和生态功能区等重要生态屏障，并以兼具生态和社会价值的重要小型生境斑块为补充，建立完整的流域绿色基础设施网络（图 5），从而增强长江上中下游、山上山下、岸上岸下、城市乡村的系统联动，促进生态空间与生产生活空间的协调发展，从而实现流域生态与社会多目标共赢的可持续发展。

#### 3.2 分类推进退化生态系统修复

针对生态系统退化程度和退化类型，通过采取保护保育、自然恢复、辅助再生或生态重建等为主的生态保护修复行动，促进长江经济带生态系统的恢复与健康维持（准则 8）。如对于武陵山区、大别山区和江南丘陵区等中轻度生态退化区域，通过封山育林、中幼龄林抚育等措施，消除生态胁迫压力，促进生态系统自然恢复。对于西南横断山区、黔滇喀斯特区、秦巴山区等生态系统退化严重地区，采用人工与自然恢复相结合措施，引导和促进生态系统逐步恢复。对于三峡库区、四川巴中地区、西南喀斯特地区等水土流失和石漠化严重地区，通过退耕还林、退耕还草、人工造林等综合治理行动，恢复植被，增强水源涵养和水土保持能力。对于洞庭湖、

洪泽湖、鄱阳湖、巢湖等重要湖泊湿地，实施退耕还湿、水系连通与河道治理行动，并有序恢复人工养殖等侵占的水面，开展通江湖泊的保护与修复，从而改善江湖关系，提升中下游地区洪水调蓄与生态安全水平。

#### 3.3 科学实施沿江国土空间综合整治

消除或缓解城镇与乡村发展对生态系统退化的直接或间接驱动，是从源头治理生态问题的重要内容。加强对长江沿岸两侧 5 km 范围内的高耗能、高污染工业企业的搬迁腾退，以消除沿江水系点源污染胁迫，提升长江主要干流水质；加强江汉平原、江淮平原等农业面源污染治理，提升河湖水网地区水环境质量。与此同时，推进长江中下游城市群节约、集约整治，科学控制城镇增长边界，缓解高度城市化地区的生态承载压力；在具备条件的沿江两侧，开展全域土地综合整治行动，促进沿江城乡发展新旧动能转化与生态系统服务产品价值转化，实现社会经济的绿色发展。

## 4 结论与讨论

健康、稳定的生态系统是促进可持续发展多项目标共同实现的重要基础。本研究提出了一个基于 NbS 的长江经济带生态修复路径框架，旨在通过生态系统的保护修复应对社会挑战，促进流域可持续发展。该路径框架概述了流域上中下游之间生态修复行动、生态系统服务提升与社会经济福祉之间的联



系,阐释了人类干预如何恢复流域生态系统并从其中获得福祉的具体路径,积极探索了解决流域跨边界生态治理问题和促进区域社会经济协同发展的新途径。只有采取多方共赢的生态修复行动,才能有效促进生态系统恢复,为社会经济发展带来的积极影响,从而实现流域可持续发展。

基于 NbS 的生态修复路径以综合的方式为减轻和恢复退化受损生态系统并同时为应对多个社会挑战提供了一个跨尺度的解决方案。该路径框架本质上是在遵循生态系统自然规律的基础上对生态系统过程、生态系统胁迫与人类福祉之间关系协调提供的一个综合伞护解决方案。特别是 NbS 准则 2 和准则 6 在案例区域的本土化,是促进多利益相关方一致应对多个社会挑战的基础。如果没有跨区域措施之间的权衡协同及系统化整合,局部零敲碎打的生态修复干预措施所取得的效果将会被持续的生态退化所抵消。因此,将 NbS 作为大尺度生态修复多方干预措施的一个集成伞护框架,是应对全球社会挑战和实现可持续发展目标的一个有效方案。

与传统生态修复工程相比,基于 NbS 的生态修复具有更低的成本,能充分利用自然规律促进生态系统恢复与人类福祉提升。然而,由于 NbS 提供预期效益的潜力尚未得到严格评估,仍有不少学者担忧其应对多项生态与社会挑战的能力<sup>[17,32]</sup>。特别是生态系统在多个尺度中具有相互作用进而演化的特征,当前研究尚未能准确地观测或预测 NbS 的直接干预结果。此外,NbS 效益更多体现在长期稳定的生态修复行动中,因而在某些需要短时间内尽快恢复生态的区域,NbS 可能并不是最佳的解决路径<sup>[33]</sup>。因此,未来有必要深入评估基于 NbS 的生态修复实践成效,探索不同情景目标需求下 NbS 与可替代方案的适宜性。

参考文献 (References):

[1] COHEN-SHACHAM E, ANDRADE A, DALTON J, et al. Core Principles for Successfully Implementing and Upscaling Nature-based Solutions[J]. *Environmental Science & Policy*, 2019, 98: 20-29.

[2] United Nations Economic and Social Council. Progress Towards the Sustainable Development Goals: Report of the Secretary-General[R/OL].(2020-04-28)[2021-06-20]. <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2020/secretary-general-sdg-report-2020-EN.pdf>.

[3] STEFFEN W, RICHARDSON K, ROCKSTROM J, et al. Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet[J]. *Science*, 2015, 347(6223): 1259855.

[4] 联合国环境规划署. 联合国生态系统恢复十年 2021—2030[EB/OL]. (2019-03-01) [2021-06-07]. <https://www.decadeonrestoration.org/zh-hans>.

[5] SHAH M A R., RENAUD F G, ANDERSON C C, et al. A Review of Hydro-meteorological Hazard, Vulnerability, and Risk Assessment Frameworks and Indicators in the Context of Nature-based Solutions[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2020, 50: 101728.

[6] 杨崇曜, 周妍, 陈妍, 等. 基于 NbS 的山水林田湖草生态保护修复实践探索 [J]. *地学前缘*, 2021, 28 (4) : 25-34.

[7] 成金华, 尤喆. “山水林田湖草是生命共同体”原则的科学内涵与实践路径 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29 (2) : 1-6.

[8] 宋伟, 韩曠, 刘琳. 山水林田湖草生态问题系统诊断与保护修复综合分区研究: 以陕西省为例 [J]. *生态学报*, 2019, 39 (23) : 8975-8989.

[9] 牛远, 胡小贞, 王琳杰, 等. 抚仙湖流域山水林田湖草生态保护修复思路与实践 [J]. *环境工程技术学报*, 2019, 9 (5) : 482-490.

[10] 彭建, 吕丹娜, 张甜, 等. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知 [J]. *生态学报*, 2019, 39 (23) : 8755-8762.

[11] 罗明, 周旭, 周妍. “基于自然的解决方案”在中国的本土化实践 [J]. *中国土地*, 2021 (1) : 12-15.

[12] KALANTARI Z, FERREIRA C S S, Deal B, et al. Nature-based Solutions for Meeting Environmental and Socio-economic Challenges in Land Management and Development[J]. *Land Degradation & Development*, 2019, 31(15): 1867-1870.

[13] IUCN. The IUCN Programme 2013-2016[R]. Gland: IUCN, 2012.

[14] Commission European. Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities (Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities) [R]. Brussels: Commission European, 2015.

[15] KEESSTRA S, NUNES J, NOVARA A, et al. The Superior Effect of Nature Based Solutions in Land Management for Enhancing Ecosystem Services[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 610-611: 997-1009.

[16] CHAUSSON A, TURNER B, SEDDON D. et al. Mapping the Effectiveness of Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation[J]. *Global Change Biology*, 2020, 26(11): 6134-6155.

[17] ALBERT C, SCHRÖTER B, HAASE D, et al. Addressing Societal Challenges Through Nature-Based Solutions: How Can Landscape Planning and Governance Research Contribute?[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 182: 12-21.

[18] United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development[R]. New York: United Nations, 2015.

[19] FERNANDES J P, GUIOMAR N. Nature-based Solutions: The Need to Increase the Knowledge on

Their Potentialities and Limits[J]. *Land Degradation and Development*, 2018, 29(6): 1925-1939.

[20] BUSTAMANTE M M C, SILVA J S, SCARIOT A, et al. Ecological Restoration as a Strategy for Mitigating and Adapting to Climate Change: Lessons and Challenges from Brazil[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2019, 24(7): 1249-1270.

[21] CHAZDON R L, URIARTE M. Natural Regeneration in the Context of Large-Scale Forest and Landscape Restoration in the Tropics[J]. *Biotropica*, 2016, 48(6): 709-715.

[22] DICK J, CARRUTHERS-JONES J, CARVER S, et al. How are Nature-based Solutions Contributing to Priority Societal Challenges Surrounding Human Well-being in the United Kingdom: A Systematic Map[J]. *Environmental Evidence*, 2020, 9(1): 25.

[23] 国家林业和草原局. 中国岩溶地区石漠化状况公报 [EB/OL]. (2018-12-14) [2021-06-21]. <http://www.forestry.gov.cn/main/138/20181214/161609114737455.html>.

[24] 中华人民共和国水利部. 中国水土保持公报 (2019 年) [EB/OL]. (2020-09-24) [2021-06-21]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202009/t20200924\\_1448752.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202009/t20200924_1448752.html).

[25] 刘世庆, 深茂英, 李晟之, 等. 长江经济带绿色生态廊道战略研究 [M]. 上海: 上海人民出版社, 2017.

[26] 樊杰, 王亚飞, 陈东, 等. 长江经济带国土空间开发结构解析 [J]. *地理科学进展*, 2015, 34 (11) : 1336-1344.

[27] 刘明, 王克林. 洞庭湖流域中上游地区景观格局变化的水文响应 [J]. *生态学报*, 2008, 28 (12) : 5970-5979.

[28] 刘录三, 黄国鲜, 王璠, 等. 长江流域水生态环境安全主要问题、形势与对策 [J]. *环境科学研究*, 2020, 33 (5) : 1081-1090.

[29] IUCN. Global Standard for Nature-based Solutions: A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling Up of NbS[R]. Gland: IUCN, 2020.

[30] IUCN. Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling up of Nature-based Solutions[M]. First Edition. Gland, Switzerland: IUCN, 2020.

[31] ALBERT C, VON HAAREN C. Implications of Applying the Green Infrastructure Concept in Landscape Planning for Ecosystem Services in Peri-Urban Areas: An Expert Survey and Case Study[J]. *Planning Practice and Research*, 2017, 32(3): 227-242.

[32] KABISCH N., FRANTZESKAKI N., PAULEIT S., et al. Nature-based Solutions to Climate Change Mitigation and Adaptation in Urban Areas: Perspectives on Indicators, Knowledge Gaps, Barriers, and Opportunities for Action[J]. *Ecology and Society*, 2016, 21(2): 39.

[33] DAVIS M, NAUMANN S. Making the Case for Sustainable Urban Drainage Systems as a Nature-Based Solution to Urban Flooding[M]// NADJA K, HORST K, JUTTA S, et al. Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice. Cham: Springer International Publishing, 2017: 123-137.

图片来源 (Sources of Figures):

图 1、3~5 由作者绘制, 图 2 由作者改绘自参考文献 [22]。

(编辑 / 刘昱霏)