

DOI: 10.5846/stxb202006071478

李永洁,王鹏,肖荣波.国土空间生态修复国际经验借鉴与广东省实施路径.生态学报,2021,41(19):7637-7647.

Li Y J, Wang P, Xiao R B. International experience in territorial ecological restoration and its implementation path in Guangdong Province. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(19): 7637-7647.

国土空间生态修复国际经验借鉴与广东省实施路径

李永洁¹, 王 鹏², 肖荣波^{2,*}

¹ 广东省自然资源厅, 广州 510000

² 广东工业大学环境科学与工程学院, 广州 510000

摘要:开展国土空间生态修复是生态文明和美丽中国建设的要求,是关系国家生态安全和民生福祉的重大国家战略任务。梳理了近 100 年来以荒野、再野化、基于自然的解决方案、生态修复为核心的国际生态环境治理理念的发展语境,辨析概念之间的关系,阐明国际生态修复基本研究框架,并梳理国外生态修复的典型实践案例,总结国际经验。基于对广东省主要生态问题研判,从摸清家底、确定目标、谋划格局、布置行动、实施保障 5 个层面构建省域国土空间生态修复科学规划总体框架,并以实际问题与生态修复目标为导向,提出深入开展国土空间生态修复规划九项专题研究、生态修复技术研发、多元组织形式等策略。本文提出的广东省生态修复设计思路及实施路径,将为找准生态环境问题根源、实现靶向修复治理、促进生态文明建设提供决策支持。

关键词:国土空间生态修复;再野化;基于自然的解决方案;实施路径;广东省

International experience in territorial ecological restoration and its implementation path in Guangdong Province

LI Yongjie¹, WANG Peng², XIAO Rongbo^{2,*}

¹ Department of Natural Resources of Guangdong Province, Guangzhou 510000, China

² School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510000, China

Abstract: Carrying out territorial ecological restoration is the requirement for ecological civilization and the construction of a beautiful China, and is an important nationally strategic task related to the ecological security and people's livelihood. This paper reviews the development context of the ecological environment governance centered on wilderness, rewilding, nature-based solutions, and ecological restoration in the past 100 years. We distinguish the relationship between concepts, clarify the basic research framework of international ecological restoration, and sort out the typical practice cases of ecological restoration abroad, and summarize the useful experience of the internationally ecological restoration. Based on analysis of the current situation of ecological and environmental problems in Guangdong Province and the international experience, this paper puts forward the general idea of scientific planning of land and space ecological restoration from five aspects: finding out the background, determining the goal, planning the pattern, arranging action, and implementing the guarantees, and puts forward nine special studies, research and development of ecological restoration technology, and multi-forms of organization and other strategies. The design idea and implementation paths of ecological restoration in Guangdong Province proposed in this paper will provide decision supports for identifying the root cause of ecological environment problems, achieving the targeted restoration and governance, and promoting the construction of ecological civilization.

基金项目:广东省重点领域研发计划项目(2020B1111370001);国家自然科学基金项目(51709127);广东省自然科学基金(2017A030310172)

收稿日期:2020-06-07; **网络出版日期:**2021-06-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ecxiaorb@163.com

Key Words: territorial ecological restoration; rewilding; nature-based solutions; implementation path; Guangdong Province

自工业革命以来,全球经济高速发展极大加快了城市化进程,提升了人民的物质生活水平,但所导致的全球变暖、环境污染、生物多样性丧失等生态环境问题也日益突出。区域乃至全球尺度的森林、草原、湿地、红树林等自然生态系统大面积锐减,生态系统的结构和功能遭受破坏,生态环境质量下降,资源约束趋紧,生态系统的食物供给和服务能力大幅度降低,人类的生存与发展面临巨大挑战^[1-4]。为此,如何科学开展退化生态系统的修复引起世界各国的高度重视。

生态修复是改善受污染、受破坏生态系统的重要手段^[5]。生态修复的研究工作源于 100 年前人类对自然资源的利用与管理^[6]。20 世纪初,欧美国家针对受损害的山地、森林和草地资源进行保护利用,拉开了生态修复实践的序幕。20 世纪中后期,在景观生态学和恢复生态学的理论指导下,物理、化学、生物和生态修复技术蓬勃发展,在矿山复垦、农田治理、森林恢复、河流修复领域涌现出许多景观生态设计与环境治理结合的修复案例^[7]。进入 21 世纪,面对突出的气候危机与生态风险,联合国制定了 2021—2030 年生态系统修复十年计划,旨在推动大规模恢复退化和破坏的生态系统,生态修复工作已成为全球生态环境治理的一个核心议题^[8]。

广东省是我国经济大省、工业强省和改革开放先行地,也是“四个走在全国前列”的排头兵。改革开放以来,高强度的人类活动和快速城市化已对区域生态环境产生了巨大的影响,景观格局破碎化趋势明显,局部区域水土污染严重,海岸人工化程度加深,生物种群结构异化,部分地区生态系统功能下降,资源约束趋紧,已成为经济社会可持续发展的瓶颈^[9-11]。近年来,广东省高度重视生态修复工作,针对生态脆弱区和重点区域开展了山水林田湖草沙生态保护修复工程试点建设,在生态修复技术、方法、材料、工艺、制度、法规、标准方面取得重要成绩^[12-13]。但是,目前的生态修复多为特定对象、要素、地块、过程的修复工程,对多要素、多尺度耦合的国土空间生态修复研究仍较为薄弱。

党的十八大以来,在“深入实施山水林田湖沙一体化生态保护和修复”、“绿水青山就是金山银山”等生态文明建设思想的引领下,国土空间生态修复上升为国家战略工程。国土空间生态修复强调整体性、系统性和综合性,统筹山水林田湖草沙系统治理,兼顾人文与社会功能建设。然而,目前对于省域国土空间生态修复的技术方法与路径尚不明晰。特别是“十四五”时期如何因地制宜制定生态保护修复策略需要系统思考。为此,本文从辨析生态修复的概念与内涵出发,阐述国际生态修复的基本原则、流程和典型案例,总结国际经验,提出广东省国土空间生态修复的实施路径,以期为建设美丽广东提供决策支持。

1 生态修复的发展语境

1.1 国际语境

近 100 年来,在生态环境治理实践中涌现出“荒野”、“再野化”、“生态修复”和“基于自然的解决方案(Nature-Based Solutions, NBS)”等理念。虽然各个理念的提出背景和语境存在一定差异,但是它们的目标都是围绕生态系统结构、功能和服务价值的恢复开展研究。为了理解生态修复思想的发展,对以上理念的发展语境进行梳理。

“荒野”一词来自古英语词汇 wild-dēor-ness,意指野兽出没之地,野生生物是荒野的重要特征。荒野是美国现代史上的一个重要概念,美国自然主义思想家亨利·梭罗认为荒野是“世俗世界的保留地”,生态伦理学家奥尔多·利奥波德将其称为“人类从中锤炼出文明的原材料”,环境史学家罗德里克·纳什认为荒野是一种“思想状态”^[14]。1924 年,美国设立了全球第一个荒野保护区;1935 年,成立了荒野保护协会;1964 年,美国国会通过《荒野法》,从国家层面建立起荒野保护的法律与组织体系^[15]。1994 年世界自然保护联盟(IUCN)将“荒野”定义为:“大面积自然原貌得到基本保留或只被轻微改变的区域,其中没有永久或明显的人

类聚居点。^[16]”

“再野化”以荒野为核心区,通过增加荒野地的连通性,保护和重新引入关键种,提升生态系统的韧性和维持生物多样性,更强调动态过程管理。再野化聚焦营养级复杂性、随机干扰和物种扩散^[17] 3 个关键的要素。2015 年,欧洲发布再野化行动计划,旨在创建一个“更具野性”欧洲^[18]。时至 2016 年,全球 48 个国家和地区从法律层面确立了荒野保护区,再野化成为全球生态环境治理的重要理念。

NBS 是一种保护、可持续管理和修复生态系统的行动,这一理念源于 2008 年世界银行发布的《生物多样性、气候变化和适应性:来自世界银行投资的 NBS》报告,旨在解决气候变化和城市化胁迫下生态系统的恢复问题^[19]。2015 年欧盟委员会将基于 NBS 纳入“地平线 2020”(Horizon 2020)计划,在其发布的《基于自然的解决方案和自然化城市》报告中,指出 NBS 是恢复退化生态系统、增强气候适应性、降低生态风险的有效方案^[20]。2019 年联合国气象峰会将 NBS 列为全球气候变化十项优先行动之一。

生态修复是恢复生态学中出现的新词,目前尚无统一的定义,欧美语境中常称之为“生态恢复”,我国多采用“生态修复”这一称谓。2002 年,国际恢复生态学会(SER)将生态修复界定义为“协助已退化、损害或被破坏的生态系统而进行的恢复过程”^[7]。2016 年生物多样性公约呼吁“恢复退化的生态系统,扭转生物多样性丧失,恢复连通性,改善生态系统弹性,提高生态系统服务的供给能力”。2019 年联合国大会宣布 2021—2030 为“生态系统恢复十年”,生态系统修复成为全球热点。

生态修复与荒野、再野化和 NBS 等概念既有区别也有联系。它们的区别主要体现在:一是,从空间范围看,荒野是一个明确界定的地理空间,再野化早期研究将荒野作为核心区,现研究范围有所扩展,而生态修复、NBS 的空间包括但不局限于荒野区,可以是城市、流域、农田或矿山等生态系统;二是,从生态系统退化及人为干预的程度看,荒野生态系统受损害相对较轻、人为干预较弱;再野化在观念和方法较之于传统的生态修复,更加强调生态系统的自主性、动态性和不可预测性,注重自然主导、过程导向,致力于使生态系统达到能够自我维持的状态^[21];生态修复多针对严重受损的生态系统,基于生态学原理,以生物修复为基础,结合物理修复、化学修复和工程技术措施,通过优化组合,实现受损生态系统生产力提升;NBS 则包括再野化-修复-重建-复垦-替代等 5 种模式,范围更广^[22]。他们亦有共同之处:一是,都具有主动和被动的过程,基于生态系统的恢复力和适应性,以生态系统自我恢复为主,生物修复是其他修复技术的基础;二是,目的都是使退化或受损的生态系统回归到一种稳定、健康、可持续的发展状态。

1.2 国家语境

在我国生态修复是一个舶来词,但已经广泛使用。《辞海》中“生态修复”的解释是:“对生态系统停止人为干扰,以减轻负荷压力,依靠生态系统的自我调节能力与自组织能力使其向有序的方向演化,或者利用生态系统的自我恢复能力,辅以人工措施,使受损的生态系统逐步恢复或促使生态系统向良性循环发展”^[23]。我国生态修复研究始于 20 世纪 80 年代。党的十八大以来,将生态修复放在突出重要位置,提出“实施重大生态修复工程”、“建立陆海统筹的生态系统保护修复和污染防治区域联动机制”、“树立山水林田湖是一个生命共同体的理念……进行整体保护,系统修复,综合治理,增强生态系统循环能力,维护生态平衡。”、“在生态建设和修复中以自然修复为主,与人工修复相结合”。2019 年,在《中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》中更加明确提出国土空间生态修复的实施要求:“坚持山水林田湖草生命共同体理念,加强生态环境分区管治,量水而行,保护生态屏障,构建生态廊道和生态网络,推进生态系统保护和修复”。国土空间生态修复相较于传统生态修复具有以下特点:①多尺度。从区块尺度向全国、区域、地方、村庄、农田等多尺度全域治理^[24]。②多要素。从单一的要素修复转向山、水、林、田、湖、草等全要素的系统治理。③多目标。从单一目标向社会、经济、生态、文化等多元目标协同治理。④多手段。从末端修复、结构调控向源头治理、过程耦合、物理-化学-生物技术集成应用发展。⑤多层级。从区域、部门自主治理走向国家顶层设计与多部门协同参与治理。

2 国际生态修复的经验借鉴

2.1 基本原则与流程

生态修复是一项复杂的系统工程,如何筹备、开展、管理和回顾性评估生态修复工作是重要的实际问题。为此,本文梳理了再野化、生态修复、NBS 的基本原则,比较各个理念的异同。

IUCN 提出再野化的 9 项基本原则(表 1),主要对再野化的对象、尺度、利益主体、内部过程、外部影响、目标的可达性进行了框定^[25]。2016 年联合国生物多样性大会上发布的《生态修复实践的国际原则与标准》提出了生态修复 8 项基本原则,2019 年 SER 对其进行了修订^[26]。SER 的生态修复基本原则主要体现了多元利益主体,确定的参照体系,多级修复目标,集成的修复手段,动态的修复过程等特征(表 1)。2020 年,IUCN 提出了 NBS 的 8 项基本准则,其主要包括界定尺度和关键目标,同时指出需要明晰成本与收益、量化绩效考核等,进行 NBS 的动态管理和扩张^[27]。从这三个理念的基本原则看:一是,注重生态系统的整体性、综合性、动态性;二是,强调目标的可达性、可评估、可监管;三是,多技术、多手段、多元主体参与。

表 1 再野化、生态恢复和 NBS 的基本原则
Table 1 The basic principles of rewilding, ecological restoration and NBS

再野化的基本原则 The basic principles of rewilding	生态修复的基本原则 The basic principles of ecological restoration	NBS 的基本原则 The basic principles of NBS
必要时引入野生动物修复食物网;	利益相关方参与生态修复	有效地解决一个或多个社会挑战
需要在景观尺度进行规划设计;	生态修复需要利用多种知识与技能	应在大尺度上开展,有系统尺度的视角
需要当地居民参与,具有教育和科普的功能;	生态修复实践基于本地参考生态系统,并考虑环境变化	改善生物多样性及生态系统完整性
与目标比更注重生态修复的过程;	生态修复支持和优化生态系统修复过程	针对各种方案展开风险和收益评估,明确成本和收益
认识到生态系统是动态变化的;	生态系统修复是根据明确的目标和可测量的指标进行评估的	标准化的绩效评价,
将气候变化纳入考虑;	寻求可实现的最高恢复水平	与生态系统系统保护与修复相结合
基于科学与地方知识,建立监测数据的适应性管理策略;	大规模的生态修复会产生累积价值	进行动态的适应性管理
探究可野性自然和所有物种内在价值;	生态恢复只是恢复性活动的一种	促进 NBS 的主流化,推进大规模推广运用
是人与自然共处范式“变革性转变”的一个机会		

生态修复是一个动态的过程,《生态修复实践的国际原则与标准》将生态修复划分为 4 个基本阶段。一是,规划与设计阶段,主要任务包括:确定各方协作框架;开展生态系统现状评估;划定基线清单;识别参考生态系统;厘定生态修复目标;制定修复方案;开展安全性评估;分析组织框架;审核流程安排等。二是,生态修复实施阶段,主要是依据修复方案开展生态修复工作,生态恢复需结合自然过程,响应生态恢复的变化。三是,生态监测与评估阶段,重点针对修复的生态系统进行观察、监测与记录,并开展生态修复效果跟踪评估,在此基础上分析工作进展并实时调整工作方案;四是,生态修复实施后管理阶段,主要的任务是开展回顾性评估,建立生态系统长效保护机制。

NBS 的实现有 3 种路径:一是通过降低对生态系统的干扰,消除潜在威胁,维持自然生态系统状况;二是通过调整和修复现有的生态系统,改善和提升生态系统功能,以增强生态系统的稳定性、适应力;三是通过强化人工干预,以恢复严重退化或污染地区为目标,创建和管理新的生态系统。以上路径是基于对生态系统的现状评估,根据生态系统受损害程度分别提出差异化治理策略。NBS 的实施流程可简要概述为七个阶段:识别生态系统问题,筛选措施,设计实施流程,执行解决方案,沟通利益相关方,方案修正,量化效益。以上步骤不是孤立环节,是一个动态反馈并调整的过程。

2.2 应用案例

欧美国家对于生态修复研究较早,形成了一些成功的工程实践案例。为此,本文梳理了具有代表性的德

国鲁尔工业区与莱茵河、韩国清溪川、新加坡加冷河、澳大利亚矿山和美国大沼泽地等地区生态修复实践案例^[28],总结他们存在的主要问题与对策(表2),以期为我国国土空间生态修复工作的开展提供参考和借鉴。

表2 国际生态修复典型案例
Table 2 Typical cases of ecological rehabilitation

案例名称 Case name	主要问题 Main problems	策略与措施 Strategies and measures
德国鲁尔工业区与莱茵河生态修复工程 Rhine River and Ruhr Industrial Zone Ecological Rehabilitation Project	老工业基地,大气污染严重;污染场地多,土壤污染突出;水质恶化,生态系统崩溃	建立完备的生态环境治理法律法规体系;成立专门的跨国管理和协调组织;促使公众参与;调整产业结构;扩大蓄水面积、采用生态堤岸,重建生态系统;制定鲑鱼洄游行动;建立水环境监控预警体系;源头控污,实行污染者付费,发挥企业在环境保护中的主体作用
清溪川生态修复工程 Cheonggyecheon Ecological Rehabilitation Project	污水乱排,水污染严重;人居环境差;生态系统退化	坚持生态修复与园林设计相结合。组成市民委员会进行政策指导;交通疏解与产业功能布局优化;源头截污,雨污分流,多源水流;强调自然生态特点,坚持污染治理与河流休闲功能结合;构建自然中的河流、文化中的河流、生态中的河流
新加坡加冷河生态修复工程 Kallang Basin Ecological Rehabilitation Project	缺淡水,洪涝灾害频繁,河流水体污染严重,生态退化	恢复自然河道与“水敏性城市设计”理念结合。恢复自然河道与生态植被;建设石坡生态防洪护岸,生态调蓄洪水;建立雨洪警报预警系统;开展雨水资源回收利用;建设生态湿地
英国泰晤士河生态治理工程 Thames River Ecological Rehabilitation Project	黑臭水体,水质恶化;生态系统严重破坏	成立流域水务管理局,形成流域管理机制;制定水污染控制的政策、标准、法规;建立完善的污水管网;充分利用市场机制,多元融资;加大水环境治理科技投入;加强宣传,提高市民环保意识;采取生态修复措施;暴雨污水排放的控制;水生态修复与水景观设计结合
澳大利亚矿山土地复垦与生态修复工程 Land Reclamation and Ecological Restoration in Mining Areas of Australia	矿山无序开展,水土流失,土壤重金属污染严重,造成生态系统破坏	完善矿山开采和土地复垦的法律体系,构建以生态保护修复为主的法律内容和标准规范;建立“3S+N”生态目标评估和监测管理机制;土地复垦与生态修复全过程动态管理;健全公众参与工作机制;实施灵活的土地复垦保证金和风险金制度;以企业和市场需求为导向,建立矿山生态修复科技创新制度机制
美国大沼泽地生态修复工程 Comprehensive Everglades Ecological Rehabilitation Project	沼泽被开发成农田;水体污染严重;自然栖息地退化	调整供水规划,优化水资源配置;模仿自然过程,改善大沼泽地的人文条件,调整水文过程;修复栖息地和生态功能;保护与引入野生动物

2.3 经验借鉴与启示

从上述生态修复的基本原则与流程、生态修复实践案例的问题与对策,总结出以下四点启示:

(1)理念层面:整体保护,系统修复,综合治理

国外对河流水系、矿山湿地的生态修复实践案例表明,生态系统各要素、各子系统相互影响、相互制约,它们在生态修复中所处的层级、位置和作用各有不同。生态保护和修复对象从传统的单一自然要素向社会-生态多要素转变,研究尺度从局地生态系统健康改善转向多尺度生态安全格局拓展,目标从生态系统功能优化趋向于人类生态福祉提升。只有按照生态系统的整体性、系统性及其内在规律,统筹考虑自然生态和经济社会各要素,坚持自然恢复为主、人工修复为辅,进而从理念、规范、技术、功用、体制、机制、空间格局、文化等多个方面,系统提出生态保护修复的一揽子、整体性方案,才能做出真正符合自然规律的管理决策,综合提升生态系统的服务功能。

(2)标准层面:健全生态修复标准体系,强化绩效考核

准确评价生态系统的受损状态及确定修复目标,是进行生态系统恢复和重建的前提和重要基础。再野化、生态恢复和NBS的基本原则均明确规定,生态修复首先需要确定本地生态系统参考系,建立生态修复多级目标。从实践经验看,生态修复设计、评估、实施监测的各个阶段均需要有明确的技术规范,并且制定全过

程标准化的绩效评价体系,才能保障生态修复工程的顺利实施与长效管理。

(3) 技术层面:创新生态修复技术方法,注重集成运用

研究与实践表明,生态修复应充分考虑生态系统的时间维度和尺度效应,对其运行规律进行长期的观测与研究,掌握自然生态系统各要素的演变特征及相互作用机理,确定生态系统退化与恢复机理。在此基础上,发展绿色、安全、环境友好的物理、化学和生物修复技术。由于生态系统的组成、结构、性质等的空间分异明显,而且修复目标也不尽相同,这使得单一的修复技术往往很难实现修复目标。近年来,技术协同及综合利用成为生态修复的发展趋势。

(4) 管理层面:倡导多方利益主体参与,强化过程监管

生态修复实践涉及多方利益主体,欧美国家的生态修复策略中对于利益相关方参与均有特别的强调,倡导科研机构、企业、非政府组织、社会公众等多元主体的参与和深度协作。同时,建立生态修复产学研一体化的机制,培育生态修复产业,激发市场活力,从而提升生态修复的有效性、经济性和参与性。生态修复是一个持续的过程,特别是以自然修复为主的过程中需要的时间周期较长,欧美国家在生态修复过程中强调全生命周期的过程监管。

3 广东省国土空间生态修复现状与实施路径

3.1 现状与问题

广东省总体生态环境优势和局部突出问题并存。从地理空间看,广东省地处热带亚热带地区,北倚南岭,南临南海,地形复杂多样,素有“七山一水二分田”之说,具有相对独立完整的“山、水、林、田、湖、海”生态系统。从资源禀赋看,广东省是资源大省,年均降雨量 3145 亿 m^3 ,年均水资源量 1830 亿 m^3 ,海岸线 4114 km,海岛 1963 个,滨海湿地面积 10178 km^2 ,森林面积 1088 万 hm^2 ,红树林面积近 1 万 hm^2 ,是生物多样性热点区域。但由于广东省地质地貌类型的复杂性、人类开发建设的激烈性和不均衡性等,区域生态系统健康状况也存在一些突出的问题。例如,森林生态系统质量不高,地质灾害频发,水土流失和粤北地区石漠化等土地退化问题依然存在,集中连片优质耕地减少,生态空间破碎化趋势明显,珠三角和韩江三角洲流域水环境污染问题比较突出,珠三角、矿山周围和城市周边地区土壤污染较为严重,珠江河口地区岸线开发强度过高,局部滩涂萎缩、围填海、自然岸线退化、红树林面积减损等海域性生态环境问题不容忽视。

近年来,广东省在大力推进生态修复工作,在三旧改造、拆旧复垦、农田改良、森林抚育、滨海湿地修复、水土流失和矿山治理等方面取得显著成效,打造了一批山水林田湖草生态保护修复“南粤样板”:广州海珠国家湿地公园、珠海淇澳-担杆岛省级自然保护区、汕头南澳大桥入口景观、茂名露天矿生态公园、阳江海陵岛红树林国家湿地公园、清远连南万山朝王国家石漠公园、茂名博贺林带、韶关大宝山矿区生态修复工程、惠州市惠东县考洲洋红树林、梅州丙村明珠冶炼厂周边重度污染山地生态修复工程,这些案例起到了标杆示范作用。

但应该看到,当前广东省的国土空间生态修复实践工作尚属起步阶段,生态修复的法治体系、理论研究、政策架构、制度规范、技术标准、学科建设等方面基础薄弱,主要问题体现在:(1)省域国土空间生态修复的顶层设计有待深入。广东省生态系统类型多样和社会发展水平差异较大,区域不平衡不协调问题突出,人地关系复杂,这导致国土空间修复区域布局对象、途径、效果非常复杂,不确定性增强。(2)生态系统退化过程的驱动机制认识还很薄弱。广东省生态系统退化过程及其空间格局复杂,同时受高强度人类活动和显著气候变化影响,生态系统退化过程驱动机制也愈加复杂,但是目前对该领域的研究还较为薄弱。若忽视退化过程与机制研究,则难以避免重走“末端问题治理”的老路,不能达成“源头预防”的效果。(3)尚缺少成熟低廉的生态修复技术。虽然生态修复新材料、新技术和新方法不断涌现,但是技术成熟度高、价格低廉的材料与技术仍十分欠缺。(4)尚未建立多元的监管治理体系。国土空间生态修复还存在制度体系不完善、社会参与度不高、量化评价指标体系不健全等问题,且部分协调联动机制尚未建立。

3.2 主要思路与实施路径

基于当前主要的生态环境问题研判,借鉴国际生态修复的先进理念与技术,提出广东省生态修复的主要思

路:以“山水林田湖草是一个生命共同体”理念为指导,围绕生态环境“整体保护、系统修复、区域统筹、综合治理”的总体要求,扎实推进“总体规划-专题研究-试点工程”相结合的国土空间生态修复之路。实施路径包括:

(1)做好顶层设计,科学制定国土空间生态修复规划

国土空间生态修复规划是生态修复工作的统筹谋划和总体设计,是一定时期内广东省开展生态保护修复活动的指导性、纲领性文件。结合当前广东省生态文明建设和经济社会发展的新形势,以保护和修复国土空间生态系统为主线,统筹考虑陆地、湿地、海洋三大系统特征,聚焦自然保护区、重点生态功能区、生态脆弱区、生态敏感区的生态修复需求,明确不同区域的生态修复目标,开展“山水林田湖海”一体的国土空间生态修复试点研究,建立健全生态系统修复的保障机制,形成较为完整的国土空间生态修复规划体系(图1)。国土空间生态修复规划的基本步骤和内容包括:

摸清家底。针对生态底数不清、现状不明的问题,需要集成第三次国土调查及各类专项调查数据,开展省域气候、水文、土壤、地貌、地质、资源等自然条件和山水

林田湖海现状进行调查与评价,全面掌握广东省自然资源的种类、范围、数量、分布、质量、结构、布局、保护与开发利用状况以及演变信息等,查明省域国土空间生态系统和国土空间品质总体特征,研判生态环境的突出问题与薄弱环节,重点分析山水林田湖海自然生态系统的结构-功能-过程-格局特征,开展生态系统敏感性和生态服务价值评估,识别生态环境脆弱区、生态服务低效区和环境受损国土空间,为科学保护和有效修复提供依据。

明确目标。通过对国土空间生态系统的综合诊断评估,以本地适宜的生态系统作为参照体系,主要从“生态安全格局、高质量发展和社会经济支撑能力”三个层面和“国土空间安全优质、生态系统健康有序、人与自然和谐共生、景观风貌美丽宜人等”四个维度构建国土空间生态修复指标体系,明确目标任务、重点区域、关键系统、试点工程,形成分阶段预期性、约束性指标。

谋划格局。坚持生态保护修复分区和分级管控的总体思路,结合国土空间规划和生态修复规划,确定生态功能重要、生态系统脆弱、自然生态保护空缺的生态空间,筑牢“一带两屏多廊道”生态安全格局,落实“一核一带一区”区域发展新格局。统筹考虑全域空间利用和功能用途划定,优化陆海生态空间格局,细化水-气-土-生-物要素管理。遵循生态系统的整体性、系统性及其变化规律,开展农田、矿山、山地森林、湿地与河湖、海岸带与海岛、区域与城市、国家公园等生态系统修复规划,谋划全地域、全过程、全要素的国土空间总体布局。国土空间生态修复既要针对关键“点冶(如矿山、湖泊、场地等)”和“线冶(如河流、海岸带等)”实施工程性修复,又要在国土空间“面”上进行统筹协调,坚持“点-线-面”结合的生态修复治体系^[29]。

布置行动。落实《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》的战略部署,立足广东省情,围绕国土空间生态修复的工作目标,建立“总体规划-专题研究-试点工程”的行动框架,按照保证安全功能、突出生态功能、兼顾景观功能的次序,部署实施生态系统修复重大工程,形成省、市、县不同层级的项目体系,搭建搭建项目信息化监管平台。

实施保障。建立健全组织保障、职能分工、区域协同、资金投入、绩效评价等规划实施的政策保障,推动形成区域协调、部门协同、上下联动的生态保护与修复长效机制。其中,资金是最重要的一环,应积极拓展多元融资渠道,鼓励市场主体积极参与,形成社会参与-市场运行-政府管理的运行机制。广东省国土空间生态修

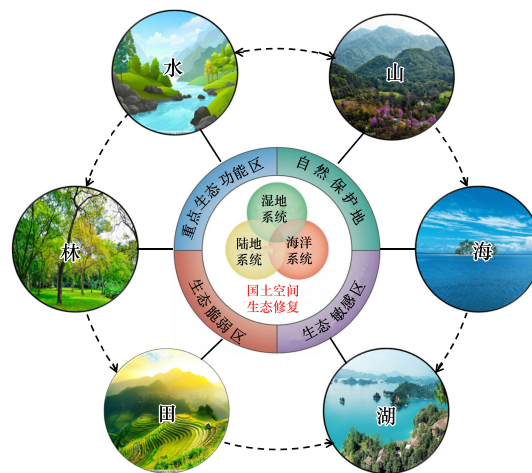


图1 国土空间生态修复概念图

Fig.1 Concept map for ecological rehabilitation of territorial space

复规划技术路线见图 2^[30]。

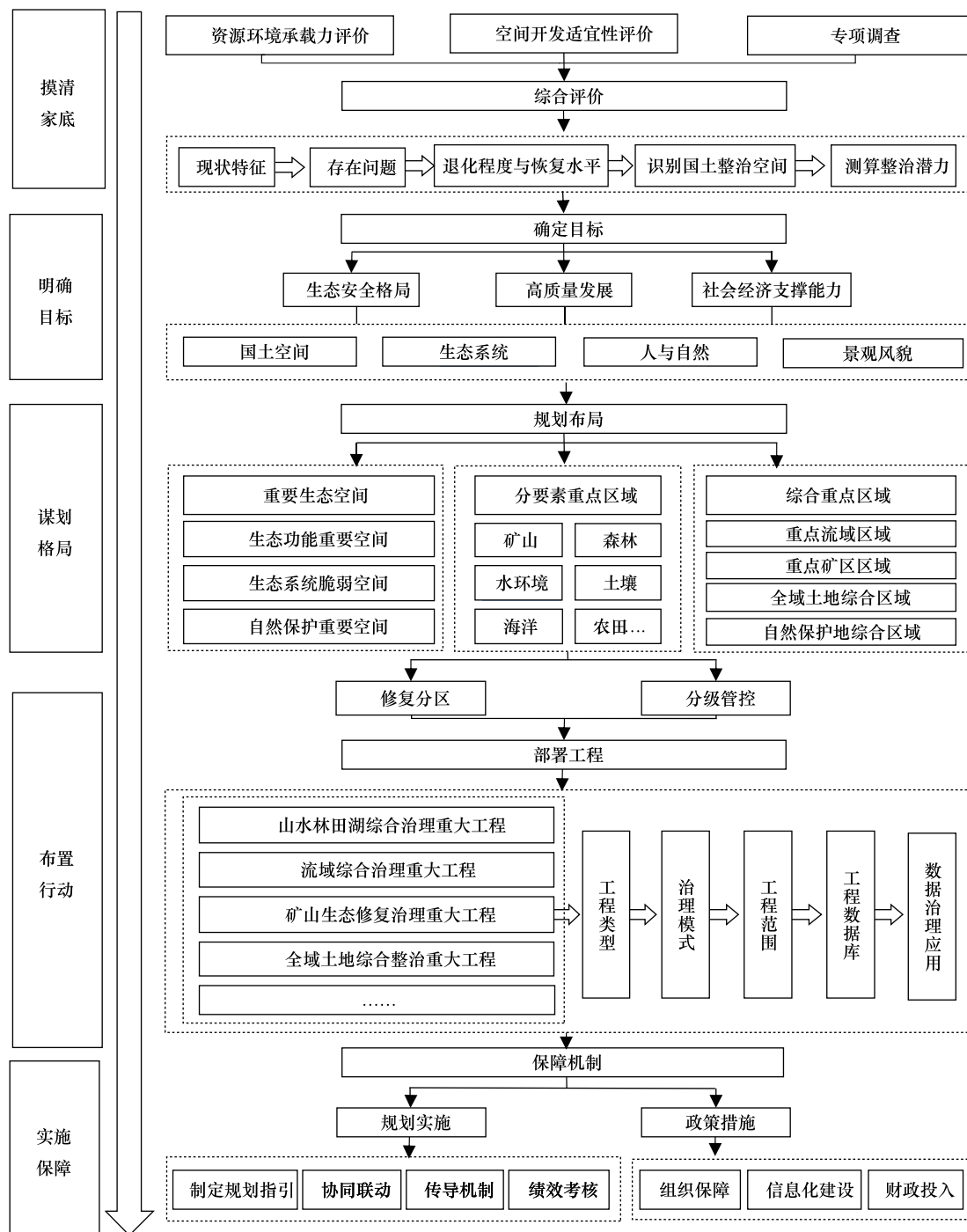


图 2 国土空间生态修复规划技术路线^[30]

Fig. Technical framework for ecological rehabilitation of territorial space planning

(2) 深化理论认识, 系统部署国土空间生态修复专题研究

考虑到广东省生态系统类型多样和区域社会发展水平差异较大, 深入理解不同区域、不同类型的生态系统是支撑因地制宜开展国土空间生态修复工作的科学前提。针对生态状况不明, 应通过深入调研, 开展生态系统功能评价和格局研判, 关注高强度人类活动下的生态空间挤压与环境质量恶化背景下的资源环境承载能力。针对生态系统结构-功能差异, 应从生态与社会耦合效益的角度, 分类识别生态系统退化驱动机制, 研发

适宜的生态修复技术;针对国土空间格局,应从生物地理和生态功能多个层次识别重点修复区域,同时以时空流动的视角认识生态修复下国土空间生产、生活、生态功能的区域权衡或协同^[31],研究粤港澳大湾区国家战略背景下“一核一带一区”生态环境修复策略。针对广东省生态优势和特点,开展“绿道、碧道、古驿道”生态廊道的修复策略、技术、标准研究。依据《广东省国土空间生态修复规划(2020—2035 年)》,系统部署国土空间生态修复专题研究^[30],详见图 3。

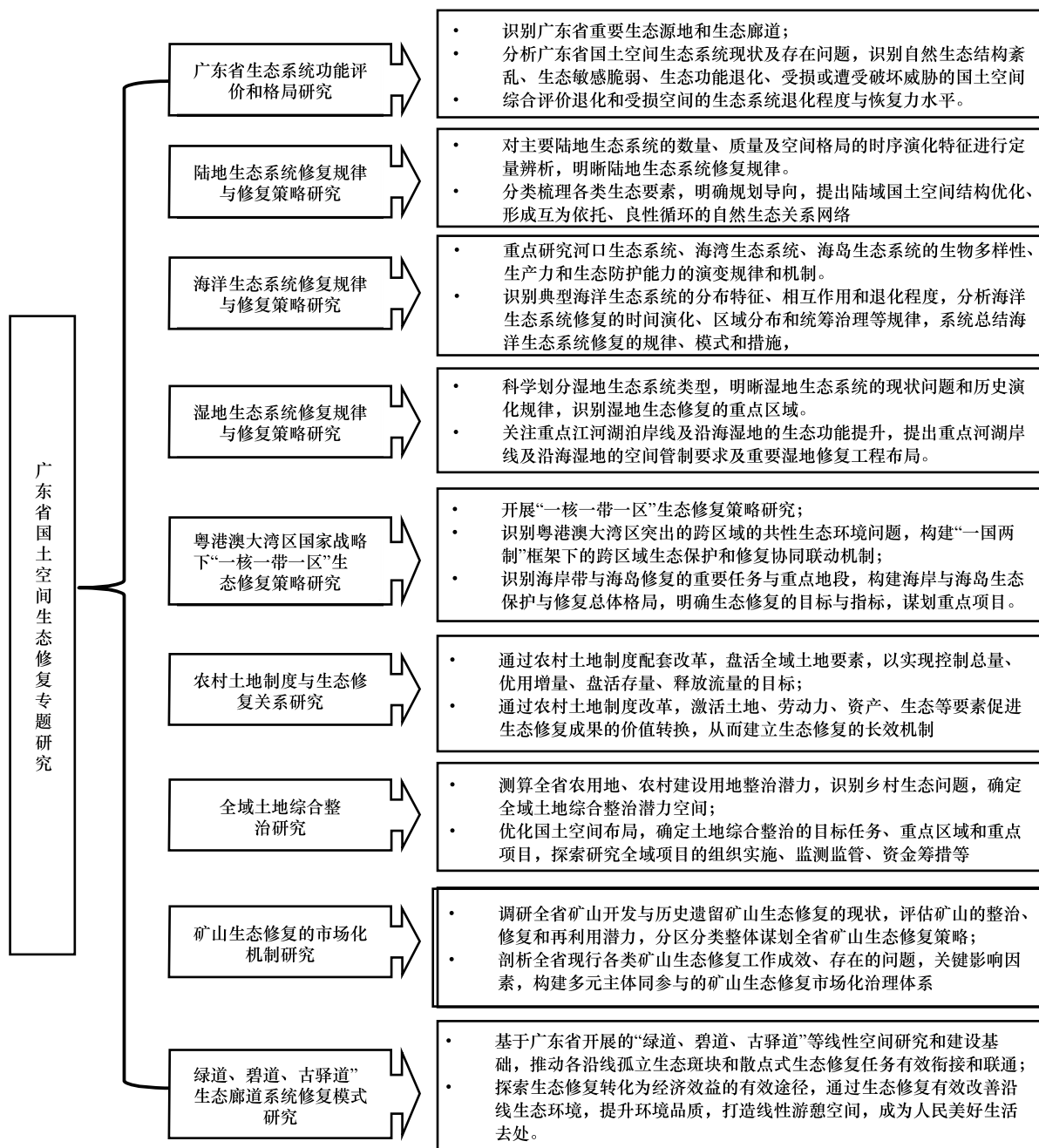


图 3 广东省国土空间生态修复专题研究

Fig.3 Subject research of ecological rehabilitation of territorial space in Guangdong Province

(3) 创新技术体系,深入开展国土空间生态修复技术研发

技术创新是推进国土空间生态修复的重要支撑。针对目前在国土空间生态修复工作中监测、评估、修复技术等方面研究的不足,需深入开展国土空间生态修复技术研发:一是研究国土空间生态修复中山水林田湖

草海等生态要素及生态功能等的综合监测方法,研发生态要素监测的信息采集-实时传输-远程监控技术;二是开展多源数据生态要素同化和空间尺度转换、长时间序列及精细和标准化生态参数数据集生成等技术研发,构建基于大数据驱动的区域生态承载力评价指标体系和评估模型方法,研发生态安全阈值界定和承载力预测预警系统关键技术;三是研究气候变化和人类活动耦合影响下生态系统退化制和演变规律,探讨生态服务形成机制,评估不同生态系统服务能力,研发基于物理-化学-生物多技术集成的退化生态系统恢复与重建、功能提升的关键技术,包括具有环境友好型的生态修复关键材料、具有弱扰动的工程设计和施工技术;四是,研究建立重大生态修复工程生态、经济、社会效益综合评估的指标体系和方法;五是,研究生态修复场地三维地理场景构建、实时监测与预警响应、全息融合的技术方法,构建基于大数据的生态修复决策智能化管理平台。

(4) 鼓励公众参与,积极探索国土空间生态修复组织体系

国土空间生态修复是生态修复与国土空间规划的有机耦合,既是环境问题也是社会问题。国土空间生态修复需要基于社会、经济、生态综合角度考虑,积极推动利益相关方参与生态修复过程。因此,生态修复体系应该有政府、企业、社会和个人等不同主体参与,并通过法律法规、制度体系、公德文化等共同约束,形成高效管理体系。例如,针对当前国土空间生态修复资金来源单一、数量不足、渠道偏窄问题,要积极构建市场化、多元化生态修复机制,探索多种融资模式,激活社会资本,形成政府引导、企业投入、社会参与、合作共赢的国土空间生态修复模式。探索通过以奖代补等措施,促进政府和社会资本合作项目。为充分发挥专家专业技术优势,进一步提高履行国土空间生态修复职责的科学性,应建立健全国土空间生态修复专家库,明晰选拔和考核程序,调动科研力量积极参与国土空间修复工作。立足大数据,建立健全生态修复“前期科学规划-过程监测-修复效果后评估”全过程管理机制,量化绩效考核指标体系。

4 结语

生态修复是国际生态学研究的前沿和热点,相关理念与技术方法一直处于高速发展中。本研究通过对生态修复、荒野、再野化、基于自然的解决方案为核心的生态环境治理理念的发展语境进行梳理,阐明了生态修复的概念与内涵。梳理了国际生态修复的基本原则与流程,并开展典型案例分析,总结经验与做法。国际上提出的生态保护与修复理念,注重生态系统的系统性和整体性,强调生态修复的目标指引和过程导向,坚持自然修复为主,辅以工程措施,从理念、标准、技术和管理等多个层面为我国的生态修复提供了重要借鉴。我国国土空间生态修复以山水林田湖草为核心要素,具有多尺度、多要素、多目标、多手段、多层级等特征,在借鉴国际经验的同时,也具有突出的中国特色。依据国情、省情并结合历史文化,开展自然修复与人文建设是我国国土空间修复的必然选择。针对广东省的国土空间生态修复重大任务,提出要科学制定国土空间生态修复规划方案、系统部署专题研究、强化生态修复科技研发、推动多元参与与机制构建等思路与实施路径。本文提出的广东省生态修复设计思路及实施路径,将为促进生态文明建设提供决策支持。

参考文献(References):

- [1] 郭晓娜, 陈睿山, 李强, 苏维词, 刘敏, 潘真真. 土地退化过程、机制与影响——以土地退化与恢复专题评估报告为基础. 生态学报, 2019, 39(17): 6567-6575.
- [2] Xu J T, Yin R S, Li Z, Liu C. China's ecological rehabilitation: unprecedented efforts, dramatic impacts, and requisite policies. *Ecological Economics*, 2006, 57(4): 595-607.
- [3] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J C, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416(6879): 389-395.
- [4] Pereira H M, Ferrier S, Walters M, Geller G N, Jongman R H G, Scholes R J, Bruford M W, Brummitt N, Butchart S H M, Cardoso A C, Coops N C, Dulloo E, Faith D P, Freyhof J, Gregory R D, Heip C, Höft R, Hurr G, Jetz W, Karp D S, McGeoch M A, Obura D, Onoda Y, Pettorelli N, Reyers B, Sayre R, Scharlemann J P W, Stuart S N, Turak E, Walpole M, Wegmann M. Essential biodiversity variables. *Science*, 2013, 339(6117): 277-278.

- [5] Ismaeel W S E, Ali A A M. Assessment of eco-rehabilitation plans; case study ‘Richordi Berchet’ palace. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 259: 120857.
- [6] 王威, 贾文涛. 生态文明理念下的国土综合整治与生态保护修复. *中国土地*, 2019, (5): 29-31.
- [7] 曹宇, 王嘉怡, 李国煜. 国土空间生态修复——概念思辨与理论认知. *中国土地科学*, 2019, 33(7): 1-10.
- [8] 罗明, 宇振荣, 应凌霄. 从生态系统健康视角看土地综合整治. *中国土地*, 2020, (2): 4-8.
- [9] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌, 贺瑞敏. 区域生态系统健康评价指标体系构架——以广东省生态系统健康评价为例. *水科学进展*, 2006, 17(1): 116-121.
- [10] 王秀明, 张勇, 奚蓉, 刘香华, 张玉环. 广东省城镇化与生态环境耦合协调的空间特征及影响因素研究. *中国环境管理*, 2019, 11(3): 100-106.
- [11] 彭建, 杨旸, 谢盼, 刘焱序. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. *生态学报*, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [12] 罗明, 周妍, 鞠正山, 魏洪斌, 张世文. 粤北南岭典型矿山生态修复工程技术模式与效益预评估——基于广东省山水林田湖草生态保护修复试点框架. *生态学报*, 2019, 39(23): 8911-8919.
- [13] 常春英, 董敏刚, 邓一荣, 肖荣波, 刘丽丽. 粤港澳大湾区污染场地土壤风险管控制度体系建设与思考. *环境科学*, 2019, 40(12): 5570-5580.
- [14] 滕海键. 美国人荒野观与荒野保护的历史演变. *光明日报*, 2016-09-15(08).
- [15] 曹越, 杨锐. 美国国家荒野保护体系的建立与发展. *风景园林*, 2017, (7): 30-36.
- [16] 宫丽彦, 程磊磊, 卢琦. 荒地的概念、分类及其生态功能解析. *自然资源学报*, 2015, 30(12): 1969-1981.
- [17] Perino A, Pereira H M, Navarro L M, Fernández N, Bullock J M, Ceauu S, Cortés-Avizanda A, van Klink R, Kuemmerle T, Lomba A, Pe'er G, Plieninger T, Rey Benayas J M, Sandom C J, Svenning J C, Wheele H C. Rewilding complex ecosystems. *Science*, 2019, 364(6438): eaav5570.
- [18] Rewilding Europe. Explore our rewilding areas. [2019-06-17]. <https://rewildingeurope.com/areas/>.
- [19] Maes J, Jacobs S. Nature-based solutions for Europe's sustainable development. *Conservation Letters*, 2017, 10(1): 121-124.
- [20] Faivre N, Fritz M, Freitas T, Boissezon B D, Vandewoestijne S. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, 2017, 159:509-518.
- [21] 杨锐, 曹越. “再野化”——山水林田湖草生态保护修复的新思路. *生态学报*, 2019, 39(23): 8763-8770.
- [22] 罗明, 应凌霄, 周妍. 基于自然解决方案的全球标准之准则透析与启示. *中国土地*, 2020, (4): 9-13.
- [23] 舒新城. 辞海(第六版). 上海: 上海辞书出版社, 2009.
- [24] 彭建, 吕丹娜, 董建权, 刘焱序, 刘前媛, 李冰. 过程耦合与空间集成——国土空间生态修复的景观生态学认知. *自然资源学报*, 2020, 35(1): 3-13.
- [25] IUCN. 17th September - Have your say on the IUCN: global standard for nature-based solutions. (2019-08-30). <https://www.iucn.org/news/ecosystem-management/201908/17th-september-have-your-say-iucn-global-standard-nature-based-solutions>.
- [26] Gann G D, McDonald T, Walder B, Aronson J, Dixon KW. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 2019, 27(S1): S1-S46.
- [27] 陈新闯, 李小倩, 吕一河, 刘红晓, 郭建英. 区域尺度生态修复空间辨识研究进展. *生态学报*, 2019, 39(23): 8717-8724.
- [28] 魏巍, 冯晶. 城市生态修复国际经验和启示. *城市发展研究*, 2017, 24(5): 13-19, 55-55.
- [29] 马世发, 劳春华, 江海燕. 基于生态安全格局塑造情景模拟的国土空间生态修复分区——以粤港澳大湾区为例. *生态学报*, 2021, 41(9): 1-8.
- [30] 广东省自然资源厅. 《广东省国土空间规划(2020—2035年)编制工作方案》. 广州: 广东省自然资源厅, 2019.
- [31] 傅伯杰. 国土空间生态修复亟待把握的几个要点. *中国科学院院刊*, 2021, 36(1): 64-69.