

DOI: 10.20103/j.stxb.202312252812

姜春前, 任引, 张旭东, 张伟东, 齐实, 白彦锋, 曾素平. 南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理技术与示范. 生态学报, 2025, 45(6): 2932-2937.
Jiang C Q, Ren Y, Zhang X D, Zhang W D, Qi S, Bai Y F, Zeng S P. Technology and demonstration of comprehensive management of mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands and deserts in the hilly and low mountainous region of southern China. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(6): 2932-2937.

南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理技术与示范

姜春前^{1,*}, 任引², 张旭东¹, 张伟东³, 齐实⁴, 白彦锋¹, 曾素平¹

1 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091

2 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021

3 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016

4 北京林业大学, 北京 100083

摘要:山水林田湖草沙生命共同体及其系统治理是我国生态文明建设的指导思想。南方低山丘陵区是我国“三区四带”国家生态安全战略格局的重要组成部分。以往在该区的生态修复理论与实践探索虽多,但往往忽视不同生态系统间的复杂互作关系,限制了治理效果的全面提升。为突破这一瓶颈,亟需一种更系统、全面的治理策略,以应对该区域独特的生态环境挑战。“南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理技术与示范”项目(2022YFF1303000)获得国家重点研发计划“典型脆弱生态系统保护与修复”专项支持。本项目依托生态站、长期科研基地及“十三五”研究示范区,融合多源数据,在南方低山丘陵区识别生态系统时空分布格局和功能演变机制,诊断其退化程度和驱动因素。重点阐明南方低山丘陵区山水林田湖草沙多要素-多过程耦合机理,量化多种生态系统服务权衡协同机制;以经果林、低质低效林及坡沟路渠为重点,研发水土流失治理与生态系统服务协同提升的技术体系;揭示关键社会-生态过程对生态系统功能的影响和治理需求,在小流域、流域和区域尺度,提出多目标多功能协调的山水林田湖草沙系统治理方案,并在巢湖、鄱阳湖、洞庭湖等选择典型小流域开展集成示范。项目将促进南方低山丘陵区生态环境建设与社会经济可持续发展,旨在为南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理提供技术支撑和决策支持,对推动生态系统保护与修复以及人与自然和谐共生具有重要意义。

关键词:南方低山丘陵区;系统治理;生态系统服务;水文连通性

Technology and demonstration of comprehensive management of mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands and deserts in the hilly and low mountainous region of southern China

JIANG Chunqian^{1,*}, REN Yin², ZHANG Xudong¹, ZHANG Weidong³, QI Shi⁴, BAI Yanfeng¹, ZENG Suping¹

1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

3 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

4 Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The theory of the life community of the mountains, waters, forests, farmlands, lakes, grasslands and deserts and its systematic governance is a guiding principle of China's ecological civilization construction. The hilly and low mountainous region of southern China is an important part of China's "Three Eco-zones and Four Shelterbelts" national ecological security strategy. Although there have been many explorations of ecological restoration theories and practices in this area, the complex interactions between different ecosystems are often neglected, limiting the overall improvement of the

基金项目:十四五国家重点研发项目(2022YFF1303000)

收稿日期:2023-12-25; 采用日期:2025-01-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangchq@caf.ac.cn

governance effect. To break through this bottleneck, a more systematic and comprehensive governance strategy is urgently needed to address the unique ecological challenges of the region. The project, titled “Technology and Demonstration of Comprehensive Management of Mountains, Rivers, Forests, Farmlands, Lakes, Grasslands and Deserts in the Hilly and Low Mountainous Region of Southern China” (2022YFF1303000) is supported by the National Key Research and Development Program, specifically the “Restoration and Protection of Typical Vulnerable Ecosystems” initiative. This project relies on ecological stations, long-term research bases, and research demonstration areas from the “13th Five-Year Plan,” integrating multi-source data. It identifies the spatial and temporal distribution patterns and functional evolution mechanisms of ecosystems in the hilly and low mountainous region of southern China. It diagnoses the degree of degradation and driving factors. It focus in on clarifying the multi-element and multi-process coupling mechanisms of mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands and deserts in these regions, and quantifying the trade-offs and synergies among various ecosystem services. It prioritizes the development of technologies for soil and water conservation and ecosystem service co-enhancement, with a focus on orchards, low-quality and low-efficiency forests, as well as slopes, gullies, roads, and channels. It reveals the impact of key socio-ecological processes on ecosystem functions and governance needs. At the level of small watersheds, watersheds, and regions, it proposes multi-objective and multi-functional coordinated systematic governance solutions for the mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands, and deserts. Integrated demonstration projects will be conducted in typical small watersheds such as those around Chaohu Lake, Poyang Lake, and Dongting Lake. The project will promote ecological construction and socio-economic sustainable development in the hilly and low mountainous region of southern China. It aims to provide technical support and decision-making assistance for the systematic governance of mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands, and deserts in these areas, which is of great significance to promoting ecosystem protection and restoration in this region, as well as harmonious coexistence between humanity and nature.

Key Words: the hilly and low mountainous region of southern China; system governance; ecosystem services; hydrological connectivity

山水林田湖草沙生命共同体及其系统治理理念是生态文明建设的核心内容之一。这需从根本上改变以往分类保护、单项治理的修复方式,把过去单一要素保护转变为以多要素构成的生态系统服务整体提升的系统治理模式。南方低山丘陵区是我国“三区四带”国家生态安全战略格局的重要组成部分,是水土保持、生物多样性保护和水源涵养等国家重点生态功能区,区域总面积 97.36 万 km²。然而,由于经济发展、人口增加导致森林植被破坏、水土流失严重,土壤侵蚀面积达 66.37 万 km²,导致流域生态系统生物多样性保育、固碳增汇以及水文调节等功能退化。

尽管以往已开展了大量水土流失治理的理论与实践探索,但从森林、灌草、果园、农田和水体等多要素多过程视角出发则显不足。开展山水林田湖草沙系统治理研究是突破该区域生态安全建设技术的关键。低质低效林面积占南方低山丘陵区森林面积的 32.11%,其大量存在的主要成因是原始植被破坏^[1]和大量营造结构单一的人工林^[2-3],导致了南方低山丘陵区水土流失严重、生态功能失衡。国际上有关森林恢复研究多关注自然恢复与人工补植^[4]、生物质碳对退化土壤的影响^[5]。国内围绕森林质量、涵水保土、固碳增汇等生态系统服务功能的提升,在次生林空间结构优化^[6]、生物多样性保育^[7]和林下植被功能群构建^[8]等方面开展了大量研究,也在局域取得较好成效。而对地带性森林建群种恢复^[9]和重要功能群的重建研究则鲜有报道。显然,研发低质低效林结构优化与整体功能提升技术已势在必行。

经果林是南方低山丘陵区的另一种主要植被类型,也是乡村产业振兴的主要模式,已达区域总面积的 14.97%。长期过度经营导致柑橘园达到或接近强度侵蚀^[10-11]、油茶林达到中度侵蚀^[12],以及面源污染严重、流域水质下降等生态问题。尽管以往研究从林下植被恢复、土壤改良等方面进行探索,相关治理技术在控制局部水土流失上也起到了一定效果^[13-15],但未能协同解决水土流失、面源污染等问题,亟待研发经果林水土流失防控和生态系统服务协同提升的技术体系。

坡沟路渠等要素在小流域尺度上共同影响水文生态过程与功能,实现小流域生态系统服务的整体提升,

需研究水文连通性的演变规律及其对植被空间配置、沟路渠结构变化的响应^[16-17]。因此,优化多维水文连通性路径,研发基于水文连通性路径优化的流域沟路渠一体化治理技术,已成为南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理的迫切需求。

明确生态系统服务的权衡与协同关系是开展退化生态系统修复与治理以及生态屏障区建设的重要前提^[18]。过度追求某一种生态系统服务可能导致其他生态系统服务显著下降,甚至整个生态系统退化或崩溃^[19-20]。生态系统服务的权衡/协同关系受生态系统景观格局和配置控制^[21],随干扰强度和梯度而变^[5],并有显著的尺度效应,合理经营可缓解生态系统服务的权衡关系^[22]。然而,国内外对生态系统服务的非线性响应特征^[23]以及权衡与协同机制依然认识不足。区域生态问题的系统治理还取决于生态系统服务供需平衡的调控^[24],研究针对生态系统服务供需平衡变化过程等的前期研究,也为南方低山丘陵区系统治理提供了重要支撑。

山水林田湖草沙生命共同体系统治理的关键是整体性和系统性,各要素之间彼此相互关联^[1, 25],其相互作用可形成系统加合效应^[26-27]。然而,当前国际上有关生态系统服务之间相互作用的了解仅局限于水-陆系统间通过食物网产生的能量流动和物质迁移^[28-30]。而对山水林田湖草沙等陆地生态系统要素间物质迁移过程及源汇关系了解不足,导致生态治理的精准性不够。此外,社会要素对山水林田湖草沙生命共同体的生态系统服务供需关系有重要影响,如何厘清南方低山丘陵区农户生产生活方式、农业经营状况对区域的影响,也是当前需要面对的关键科学问题。

在山水林田湖草沙生命共同体系统治理的思想指导下,研究提出南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理的理论框架、治理技术并进行试验示范,对解决该区以及类似地区以林分和小流域为空间单元的整体性、系统性、持续性问题、实现受损生态系统一体化保护与修复、提升区域社会-经济-自然复合生态系统的稳定与协调发展,均具有重大借鉴和参考价值,应用前景十分广阔。

1 项目目标

项目以南方低山丘陵区为研究区域,阐明南方低山丘陵区山水林田湖草沙多要素多过程耦合机理;解析生态系统服务对干扰响应的非线性特征与协同提升机制及关键社会-生态过程对生态系统服务的影响机制,提出调控生态系统服务平衡的方法和途径;突破经果林水土流失治理、低质低效林生态功能整体提升、小流域水文连通性路径优化与沟路渠一体化治理的技术瓶颈,为南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理提供关键技术;在不同尺度上构建基于自然的多目标多功能协调的系统治理方案。

2 项目主要内容

(1) 南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统退化格局与耦合机理

从小流域、流域和区域不同尺度诊断南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统退化程度与空间分布格局,阐明低质低效次生林、人工林、经果林、农田、沟路渠等要素间相互关系,揭示不同空间尺度下经果林、低质低效林等多系统的生态系统服务权衡与协同机制,解析南方低山丘陵区山水林田湖草沙生态功能演变的驱动机制。

(2) 南方低山丘陵区经果林水土流失系统治理与生态系统服务协同提升技术

以南方低山丘陵区经果林为主的典型小流域为研究对象,研发柑橘、油茶等经果林多层级植被空间配置技术、经果林多功能植物构建与生态高效经营技术,构建经果林为主的小流域山水林田湖草沙水土流失系统治理模式和生态系统服务协同提升技术体系。

(3) 南方低山丘陵区低质低效林涵水保土与生态系统服务整体提升技术

重点围绕低质低效林涵水保土与生态系统服务整体提升的系统治理目标,选择典型小流域,研发南方低山丘陵区杉木、马尾松等低质低效人工林以及次生林的植被-土壤互馈技术、建群种恢复技术、植物功能性状

簇构建技术、界面关键物质运移调控技术,以及小流域水资源调节与涵水保土、生物多样性保育、固碳增汇等生态系统服务整体提升技术。

(4) 南方低山丘陵区小流域水文连通性路径优化与坡沟路渠一体化治理技术

在巢湖、鄱阳湖和洞庭湖流域选择典型小流域,评价典型小流域土地利用对水文连通性的影响,研究低质低效林-经果林-农田-沟路渠物质运移规律,研发小流域面源污染与水资源调节的近自然治理技术及水土保持径流泥沙调控措施的空间配置技术,构建水文连通路径优化的小流域坡沟路渠一体化治理技术体系。

(5) 南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理方案与集成示范

在小流域、流域和区域尺度,开展山水林田湖草沙治理技术与模式的区域应用适宜性评估,研究社会-生态级联框架下生态系统服务的供需变化,集成多源数据、不同尺度生态系统服务的提升技术,研发基于数字孪生的多目标多功能的过程模拟和分析决策技术,形成南方低山丘陵区山水林田湖草沙基于自然的系统治理方案,在典型小流域开展技术集成与示范。

3 研究思路

项目围绕南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理的科学需求,依托生态站、长期科研基地及“十三五”研究示范区,解析山水林田湖草沙多要素-多过程耦合机理,量化多种生态系统服务权衡协同机制;以经果林、低质低效林及坡沟路渠为重点,研发水土流失治理与生态系统服务协同提升的技术体系;提出多尺度山水林田湖草沙系统治理方案并在典型小流域集成示范。项目总体技术路线如图 1 所示。

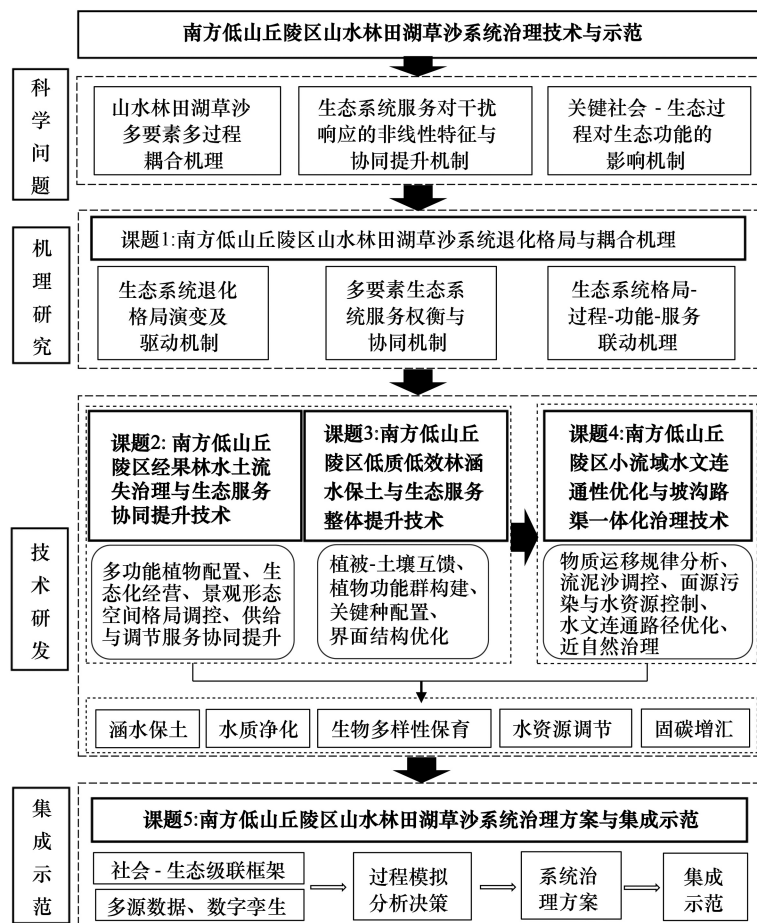


图 1 项目研究技术路线

Fig.1 Technical route of project

4 课题之间的关系

综合考虑项目的整体性以及课题的独立性和相互协作性,从区域、流域、小流域尺度和生态系统层面上,设置了5个课题,课题间的相互关系如图2所示。

课题一阐明了南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统治理的理论难题,开展的共性理论问题研究成果为课题二至课题四的技术研发及课题五的系统治理方案提供科学的理论基础。

课题二和课题三集成多学科优势、多技术手段和多源观测数据,在课题一阐明相关机制的基础上,针对南方低山丘陵区山水林田湖草沙系统的主要生态问题,构建多尺度多角度的集成创新关键技术体系,强调不同生态过程的耦合和多要素之间的联动。

课题四从小流域尺度,重点围绕水文连通性路径优化与坡沟路渠一体化治理的目标结合课题二、课题三关于经果林、低质低效林的技术研发成果,在评价典型小流域水文连通性及其主要路径、关键节点的基础上,构建了小流域坡沟路渠一体化治理与生态系统服务整体提升技术体系。

课题五整合课题一的基础研究以及课题二、课题三、课题四的技术研发成果,以基于自然的解决方案为宗旨,构建社会-经济-生态多目标相协调以及产品供给、水源涵养、土壤保持、水质净化、生物多样性保育和固碳增汇等多功能协同提升的山水林田湖草沙系统治理方案并集成示范。

综上,项目研究目标明确,五个课题设置合理且各有重点,课题任务之间既具有内在关联,又相对独立,可独立测度和独立评价。

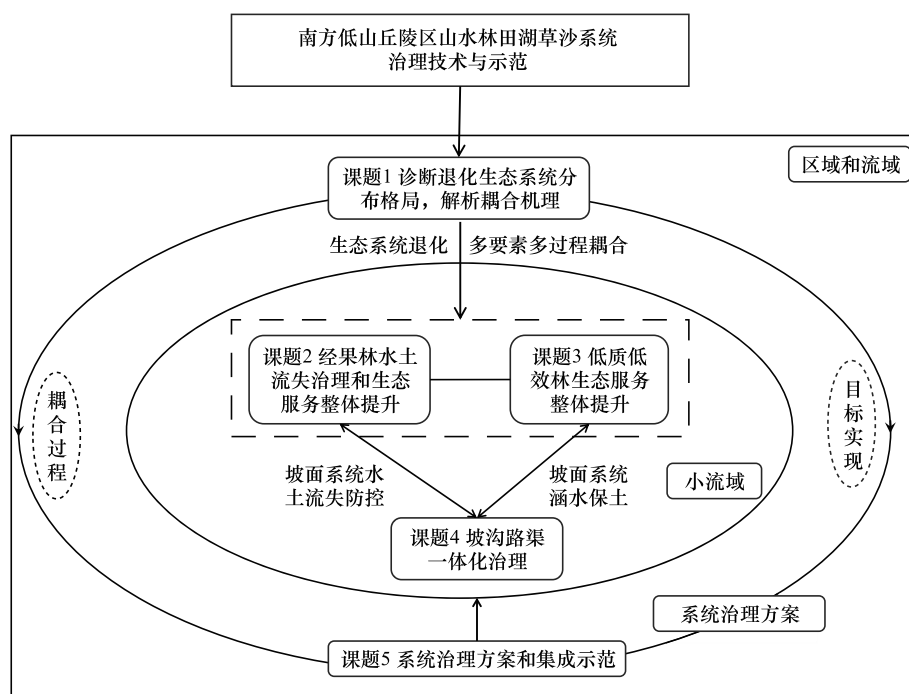


图2 项目各课题逻辑关系示意图

Fig.2 Logical relationship diagram of each project subject

5 结语

开展南方低山丘陵区生态修复系统治理对推动全国重要生态系统保护和修复重要工程建设并推动人与自然和谐共生具有重要意义。项目面向“三区四带”生态安全屏障建设的国家重大科技需求,针对南方低山丘陵区水土流失、生态系统退化、社会-生态互馈机制失衡等问题,依托生态定位站与长期试验示范基地,运用

系统学、空间信息技术、稳定同位素示踪技术、空天地一体化调查监测和模型模拟技术及方法,研发经果林水土流失治理与生态系统服务协同提升技术、低质低效林涵水保土与生态系统服务整体提升技术、小流域水文连通性优化与坡沟路渠一体化治理技术,阐明生态系统服务时空分布格局和退化等级,探明各要素生态系统服务之间的权衡与协同关系,揭示山水林田湖草沙多要素多过程耦合机制,明确各要素生态系统服务演变的驱动机制,提出与社会经济发展目标相协调、供给与调节服务相协同的山水林田湖草沙系统治理方案,并在典型小流域开展技术集成与示范。研发的技术应用和推广机制,可为政府管理部门制定生态产业发展策略、实施科学综合决策提供支持,推动践行“山水林田湖草沙一体化保护和修复”的理念。项目将促进南方低山丘陵区生态环境建设与社会经济可持续发展,为山水林田湖草沙一体化保护和修复工程建设提供科学支撑。

参考文献(References):

- [1] 石岳,赵霞,朱江玲,方精云.“山水林田湖草沙”的形成、功能及保护. 自然杂志, 2022, 44(1): 1-18.
- [2] 盛炜彤. 我国应将天然次生林的经营放在重要位置. 林业科技通讯, 2016(2): 10-13.
- [3] 刘世荣,杨予静,王晖. 中国人工林经营发展战略与对策:从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营. 生态学报, 2018, 38(1): 1-10.
- [4] Brancalion P H S, Niamir A, Broadbent E, Crouzeilles R, Barros F S M, Almeyda Zambrano A M, Baccini A, Aronson J, Goetz S, Leighton Reid J, Strassburg B B N, Wilson S, Chazdon R L. Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. *Science Advances*, 2019, 5(7): eaav3223.
- [5] Zhang M, Liu Y L, Wei Q Q, Gu X F, Liu L L, Gou J L. Biochar application ameliorated the nutrient content and fungal community structure in different yellow soil depths in the Karst area of Southwest China. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1020832.
- [6] 汤浩藩,杨旭,李子光,郭倩汝,彭明俊,许彦红. 滇池面山锥连栎天然次生林空间结构特征及采伐优化研究. 西南林业大学学报: 自然科学, 2020, 40(4): 80-86.
- [7] 张子墨,姜虹,徐子涵,丹宇卓,叶玉瑶,彭建. 面向多重生态保护目标的广东省生态系统服务退化风险情景模拟. 生态学报, 2022, 42(3): 1180-1191.
- [8] 吴华,张建利,喻理飞,袁丛军,严令斌. 草海流域水源功能区植物持水功能群划分. 水土保持研究, 2014, 21(2): 138-143.
- [9] 吴小琪,杨圣贺,黄力,李笑寒,杨超,钱深华,杨永川. 常绿阔叶林林冠环境对栲幼苗建成的影响. 植物生态学报, 2019, 43(1): 55-64.
- [10] 孙永明,叶川,王学雄,黄欠如,夏雨,成艳红,钟义军. 赣南脐橙果园水土流失现状调查分析. 水土保持研究, 2014, 21(2): 67-71.
- [11] 朱丽琴,黄荣珍,李凤,张腾升,申思佳,王莉. 南方红壤丘陵区经果林开发对水土流失的影响——以江西省为例. 中国水土保持, 2019(5): 38-41.
- [12] 黄田盛. 紫色土区油茶林不同水土流失治理措施对地表径流和土壤养分的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [13] 袁再健,马东方,聂小东,廖义善,黄斌,卓慕宁. 南方红壤丘陵区林下水土流失防治研究进展. 土壤学报, 2020, 57(1): 12-21.
- [14] 呼盼,高晓东,赵西宁,于流洋. 生草对果园生态系统服务功能的影响: 全球数据整合分析研究. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(8): 1238-1248.
- [15] 牛清清,张琳,陈云峰,胡承孝,伍玉鹏. 生态栽培对果园水土及养分流失影响的 Meta 分析. 生态学杂志, 2021, 40(10): 3175-3183.
- [16] 崔丽娟,李伟,赵欣胜,张岩,张曼胤,王义飞,高常军,马琼芳. 北京西卓家营湿地沉水植物群落组成与水环境因子的关系. 林业科学, 2012, 48(6): 18-23.
- [17] 张光辉. 从土壤侵蚀角度诠释泥沙连通性. 水科学进展, 2021, 32(2): 295-308.
- [18] 宋家鹏,陈松林. 基于生态系统服务簇的福州市生态系统服务格局. 应用生态学报, 2021, 32(3): 1045-1053.
- [19] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [20] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [21] Karimi J D, Corstanje R, Harris J A. Bundling ecosystem services at a high resolution in the UK: trade-offs and synergies in urban landscapes. *Landscape Ecology*, 2021, 36(6): 1817-1835.
- [22] 唐志雄,周自翔,白继洲,付媛. 泾河流域生态系统服务权衡/协同关系的尺度异质性研究. 水土保持研究, 2023, 30(4): 318-326.
- [23] Birgé H E, Bevens R A, Allen C R, Angeler D G, Baer S G, Wall D H. Adaptive management for soil ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2016, 183: 371-378.
- [24] Wu X, Liu S L, Zhao S, Hou X Y, Xu J W, Dong S K, Liu G H. Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply, demand and balance in China. *Science of the Total Environment*, 2019, 652: 1375-1386.
- [25] 王凌云,莫明浩,左继超,张利超,邓小群. 山水林田湖草生态保护修复背景下水土保持作用机制研究. 中国水土保持, 2020(5): 10-14.
- [26] 吴钢,赵萌,王辰星. 山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究. 生态学报, 2019, 39(23): 8685-8691.
- [27] 孔令桥,郑华,欧阳志云. 基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复——以洞庭湖流域为例. 生态学报, 2019, 39(23): 8903-8910.
- [28] Dahlin K M, Zarnetske P L, Read Q D, Twardochleb L A, Kamoske A G, Cheruvilil K S, Soranno P A. Linking terrestrial and aquatic biodiversity to ecosystem function across scales, trophic levels, and realms. *Frontiers in Environmental Science*, 2021, 9: 692401.
- [29] 夏沛,彭建,徐子涵,王佳斌. 生态系统服务流概念内涵与量化方法. 地理学报, 2024, 79(3): 584-599.
- [30] 林咏园,税伟,李志攀,杨海峰,朱粟锋,付银. 基于水-粮食-能源级联关系的水服务流矩阵构建. 福州大学学报: 自然科学版, 2020, 48(5): 646-652.