

DOI: 10.20103/j.stxb.202401020008

鲁强, 卢晓强, 洪香香, 刘燕. 生物多样性保护成效评估指标体系和评价方法研究进展. 生态学报, 2024, 44(17): 7885-7891.

Lu Q, Lu X Q, Fu X X, Liu Y. Research progress on index system and methodologies for the evaluation on effectiveness of biodiversity conservation. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(17): 7885-7891.

生物多样性保护成效评估指标体系和评价方法研究进展

鲁 强^{1,2}, 卢晓强¹, 洪香香², 刘 燕^{1,*}

1 生态环境部南京环境科学研究所, 国家环境保护生物多样性与生物安全重点实验室, 南京 210042

2 南京林业大学林学院, 南方现代林业协同创新中心, 南京 210037

摘要: 生物多样性保护是实现生态系统可持续发展的前提, 生物多样性保护成效评估是生物多样性监管的基础, 科学、有效的评估能够明显提升生物多样性保护与管理水平, 并显著改善区域生态环境。总体来看, 现有的保护成效评估主要围绕自然保护地、生态环境和生物多样性等研究对象的状态和变化两个层面开展, 评估指标体系的侧重点逐渐由管理成效向保护成效转变, 评估方法基本涵盖了全球、地区、国家和单个自然保护地等多种空间尺度。然而, 由于缺乏统一的指标体系和评价方法, 导致区域间的评估结果难以比较, 因此多尺度集成评估也难以开展。近年来, 全国生物多样性监测网络和数据库的建立, 以及多种新技术(如遥感、环境基因组学等)在生物多样性监测中的应用, 使得宏观生态系统和微观基因水平的多层次连续监测成为可能。基于此, 建议未来我国生物多样性保护成效评估应在认真总结全球生物多样性保护成效评估理论和方法的基础上, 加强全国生物多样性监测网络的建设, 发展适合中国区域特点的跨学科的综合保护成效评估指标体系。定期的生物多样性保护成效评估, 有助于全面了解我国生物多样性保护现状及发展趋势, 进而为生物多样性保护和管理决策提供支持和服

关键词: 生物多样性; 保护成效评估; 评估指标体系; 监测网络; 可持续发展

Research progress on index system and methodologies for the evaluation on effectiveness of biodiversity conservation

LU Qiang^{1,2}, LU Xiaoqiang¹, FU Xiangxiang², LIU Yan^{1,*}

1 State Environmental Protection Key Laboratory of Biodiversity and Biosafety, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China

2 Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: Biodiversity conservation is a prerequisite for the sustainable development of ecosystems. The evaluation on effectiveness of biodiversity conservation serves as the foundation in the realm of biodiversity supervision and management. Scientific and effective evaluation can not only provide insights into the status and trends of biodiversity conservation, but also remarkably enhance the level of biodiversity conservation and management, as well as contribute to the improvement of regional ecological environments. In general, recent studies on the evaluation of conservation effectiveness have mainly focused on assessing the status and changes of research objects such as protected areas, ecological environments, and biodiversity. The focus of the index system has gradually switched from management effectiveness to conservation effectiveness. Methodologies have covered global, regional, national, and individual scales. This evolution in approach

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFC1806305-04)

收稿日期: 2024-01-02; 网络出版日期: 2024-06-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuyan@nies.org

reflects a deeper understanding of the complexities involved in biodiversity conservation and underscores the importance of measuring tangible conservation successes. Despite advancements in index system and methodologies, there remains a notable challenge in developing a unified index system and standardized evaluation methods for assessing biodiversity conservation effectiveness. This lack of standardization has resulted in poor comparability of assessment results among various regions and posed obstacles for carrying out comprehensive multi-scale integrated assessments. Overcoming these challenges requires concerted efforts in refining evaluation frameworks, establishing common metrics, and fostering collaboration among stakeholders. In recent years, China has established a national biodiversity monitoring network and database, and has applied new technologies (such as remote sensing, environmental genomics, etc.). These applications have revolutionized our understanding of genetic diversity within ecosystems, offering valuable insights into population dynamics, species interactions, and evolutionary processes. Furthermore, these advancements have provided accessible data and information for quantifying conservation effectiveness evaluations at multiple levels, from macro-ecosystems to micro-genes. Accordingly, we proposed that China should conscientiously sum up its experience in studying theories and methodologies of global biodiversity conservation effectiveness evaluation. China should also strengthen the construction of a national biodiversity monitoring network, develop an area-specific integrated and interdisciplinary index system for conservation effectiveness evaluation. Regular integrated evaluation of the effectiveness of biodiversity conservation is essential for tracking progress, identifying challenges, and informing adaptive management strategies. It also helps to comprehensively understand the current status and development trends of biodiversity conservation in China. These can provide support and services for biodiversity conservation and management decisions, as well as data and technical support for China's implementation of the Convention on Biological Diversity and the realization of the United Nations Sustainable Development Goals.

Key Words: biodiversity; conservation effectiveness assessment; assessment index system; monitoring network; sustainable development

生物多样性是生物(包括动物、植物和微生物)与环境形成的生态复合体及与此有关的各种生态过程的总和,包括基因、物种和生态系统的多样性^[1]。生物多样性是地球生命支持系统的关键组成部分,不仅是人类生存的基本条件,也是社会经济可持续发展的重要基础,同时也是生态安全和粮食安全的重要保障^[2]。在栖息地丧失、气候变化、生物入侵不断加剧的全球背景下,全球生物多样性丧失问题十分严重^[3],严重影响了人类福祉和社会经济发展^[4]。如何在消除贫困和追求经济发展的同时,又能保护和恢复生物多样性,遏制并扭转全球生物多样性丧失的趋势,是决策者和政策制定者面临的一大挑战^[5]。

生物多样性保护成效评估是生物多样性监管的基础。对生物多样性保护成效开展定量评估,不仅能够保证保护措施和管理制度得到有效执行,还能为政策制定者提供全面而有效的决策支持。目前,生物多样性保护成效评估尚处在初始阶段,面临着研究案例匮乏、数据匮乏和执行匮乏等诸多困境。为此,本文旨在总结已有的研究进展,梳理评估的相关标准、技术规范,并提出构建生物多样性保护成效评估指标体系的建议,以期对生物多样性保护策略的进一步优化提供坚实的理论基础。

1 保护成效评估内涵

成效评估是指通过收集和分析相关数据,确定并度量项目、程序、政策或措施的实施效果、影响、效率和效益,从而为决策提供依据并推动优化^[6]。生态保护成效评估是对主要保护对象、生态系统结构、生态系统服务、环境要素等方面的保护效果,并对主要威胁因素等方面的管控效果进行综合评估^[7]。鉴于二者的内涵,本研究认为生物多样性保护成效评估应围绕生物多样性保护的要素层面,重点评估生物多样性保护项目在维护生物多样性、支持生态系统服务和功能等方面的综合成效,即对物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性

的保护与恢复情况进行评估,通过评估为决策者提供有效的信息,以制定生物多样性保护政策或措施^[3,7]。

2 保护成效评估主要对象

2.1 基于自然保护地的保护成效评估

建立自然保护地是对自然生态系统和生物多样性进行就地保护的主要手段^[8]。其保护成效评估主要包括管理成效评估和保护成效评估^[9]。管理成效评估主要是评价保护地是否实现了既定的管理目标,侧重于保护地的背景、规划、工程和投入等方面的评价^[10]。例如,世界自然保护地委员会提出了一套基于保护地管理过程基本要素的评估框架,即“背景-规划-投入-管理过程-产出-效果”^[10];Lessmann 等^[11]利用成本-效益(Cost-effective)理论和实地监测数据,评估了亚马逊西部生物多样性保护的管理成效。另一方面,保护成效评估主要围绕产出及效果的各个要素,评估保护地在维护生物多样性和支持生态系统服务功能等方面的总体表现^[7]。我国早期对自然保护地的评估主要集中在管理成效上,但随着研究的深入以及全球生物多样性监测网络和新技术的发展,保护成效的定量评估逐渐成为研究的热点^[9,12]。

保护成效评估的对象主要是生态系统和物种^[7]。例如,在对生态系统评估方面,辛利娟等^[13]基于 DPSIR (驱动力-压力-状态-影响-响应, driving-pressure-state-impact-response) 框架构建了草地类自然保护区的评估指标体系;汤博等^[14]就我国森林类型自然保护区的保护成效进行了探讨。此外,路春燕等^[15]和辛利娟等^[16]分别对湿地和荒漠生态系统的保护成效进行了深入研究和评估。在对物种评估方面,王金凤等^[17]以特定的野生动物为研究对象,对自然保护地保护成效进行了评估。

2.2 基于生态环境保护的保护成效评估

生态环境保护的核心目标是遏制生态环境恶化,保护生物多样性,促进社会与经济的可持续发展,保障人类福祉^[18]。自 1956 年建立广东省鼎湖山自然保护区以来,我国建立了国家公园为主体,自然保护区为基础,森林公园、湿地公园、地质公园等自然公园为补充的自然保护地管理体系^[19]。为协调国土开发和生态保护之间的矛盾,我国在继承和创新的基础上提出了重点生态功能区、生物多样性保护优先区和生态保护红线等区域生态管理制度^[20]。

对于生态环境保护成效评估,国内研究多侧重对生态系统类型构成和服务功能的评估^[21-23]。由于各类生态保护区的建立缺乏背景监测资料和连续的生物多样性调查,生态环境保护成效的准确评估难以开展^[24]。为解决地面监测数据可获得性的不足和时空连续性问题,有学者采用遥感和地理信息技术,利用归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)、植被净初级生产力(Net primary productivity, NPP)等数据来评估生态环境保护成效^[25-28]。随着研究的深入,自然生态状况、生态系统服务功能和经济价值的评估开始成为各类生态保护区的评价主体^[18]。越来越多的研究开始利用直接市场法或非市场评价法基于生态系统服务功能来评估保护成效^[29]。采用景观动态快速、定量地评估生态保护区主要保护对象的保护价值和人为干扰等在一段时间内的动态变化成为了重点课题之一。例如,宋瑞玲等^[30]结合增强型植被指数和实测样方数据,对三江源高寒草地的保护成效进行了定量评估;吴之见等^[18]采用遥感影像和地理信息技术,核算生态系统生产总值以评估生态保护成效;郭子良等^[31]结合遥感影像定量计算景观格局指数以评估衡水湖自然保护区的保护成效。

2.3 基于生物多样性的保护成效评估

评估生物多样性保护成效主要涵盖生态系统结构和功能两个方面^[32]。生态系统结构方面的保护成效评估主要侧重于土地利用类型面积或景观指数等结构性指标的变化^[33-34]。例如,陈子琦等^[32]使用评价区域的生态用地类型面积占比作为参照基准,对我国重点生态空间的生物多样性保护成效进行了评估。生态系统功能方面的保护成效评估主要以种群和栖息地两种方式开展^[35];种群指标包含生物丰度指数、物种数量和多样性指数等,而栖息地指标包括受保护区域面积比、植被盖度和生境质量指数等;这些指标可以直接或间接表征生物多样性功能^[36]。例如,郑姚闽等^[37]使用关键物种数、濒危物种数和稀有物种数等种群指标对湿地生态

系统进行了保护成效评估;王金凤等^[17]采用适宜栖息地热点区域的覆盖面积对北京市自然保护区野生动物的保护成效进行了评估。此外,生态系统结构和功能是紧密关联的,结构决定功能,而功能反映结构。因此,傅伯杰等^[38]在“生物多样性-生态系统结构-过程与功能-服务”级联框架的基础上,建立了生物多样性与生态系统服务评估指标体系。

3 保护成效评估指标体系

生物多样性保护成效评估指标体系的开发应围绕监测和评估目标进行设计和发展,对能综合评估生物多样性及其组分的现状和变化趋势的指标进行筛选和构建^[39–40],其构建核心是发展和完善生物多样性和保护策略执行成效之间的因果关系、逻辑性和整体性,从而明晰生物多样性对保护策略的响应状况,为下一步政策和管理决策的制定提供有效信息^[41]。

我国早期对保护成效评估的研究多以评价管理有效性为主^[12]。随着研究的深入,保护成效评估指标体系逐渐纳入了有关生物多样性评价的指标(见表1)。例如,2021年,我国生态环境部发布的《自然保护区生态环境保护成效评估标准(试行)》(HJ 1203—2021)^[7]以“主要保护对象、生态系统结构、生态系统服务、水环境质量、主要威胁因素、违法违规情况”6项评估内容29个评估指标对我国国家级自然保护区生态环境保护成效评估进行了规定。此外,我国现有保护成效评估指标体系大多采用层级结构(目标层、准则层、指标层、分指标层,或一级指标、二级指标、三级指标,或标题指标、变量等层次),按照一定的框架对同级指标进行划分、赋权,对不同级指标进行界定,从而计算得到最终评估结果^[42]。例如,李春峰等^[12]使用“生态保护对象、生态系统结构、生态系统服务、环境质量、主要威胁因素”5个评估内容19个评估指标构建生态环境变化指数评估我国自然保护区保护成效;徐德琳等^[43]依据4个监管目标构建2个层级的评估指标体系定量评估了我国生态保护红线的保护成效。

表1 主要生物多样性保护成效评估指标体系及方法比较

Table 1 Comparison of main index systems and methodologies for evaluation on effectiveness of biodiversity conservation

指标体系 Index system	优点 Advantage	缺点 Disadvantage	选择倾向 Selection preference	应用场景 Application scenarios
以评价“管理有效性”为主 Focusing on “management effectiveness” assessment	侧重经济投入和收益,可进行快速评估	依赖文献调研和管理者或专家意见,主观性较强,缺乏定量评估	低	地方和自然保护区
以评价“生态系统服务价值”为主 Focusing on “ecosystem services value” assessment	可实现快速、定量评估	不适用于缺乏市场价值的生态系统服务功能的评估	低	地方和自然保护区
层级指标 Hierarchical indicators	全面准确,可定量评估	指标构建繁杂,缺乏面数据	高	自然保护区、国家和地区
方法 Methodology				
综合评分法 Comprehensive evaluation	全面准确	权重设置本身存在一定的主观性和随意性	高	地方、自然保护区、国家和地区
配对分析法 Matching	可定量评估,准确性高	需要长期监测数据支撑,易受空间异质性干扰	高	地方、自然保护区、国家
“红绿灯”法 “Traffic light” assessment	可直观了解评估指标的发展方向,可实现区域间的比较	参照基准设置复杂	高	地方、自然保护区、国家和地区

然而,生物多样性保护成效评估指标体系的构建较为繁杂,尤其是各指标间关联性不够紧密,逻辑性欠佳,导致评估结果缺乏连贯性^[39–40]。评估指标体系的构建根据不同评估目的存在不同设计标准,这往往导致评估指标体系的构建存在“普适性”和“针对性”的矛盾,还存在加权评价法的局限性和数据共享机制的空缺等障碍^[42]。从评估数据的可得性来看,大多用于评估的数据为点数据,缺乏面数据,限制了动态评估^[23]。当一个新的评估目标被确立后,识别和构建一套复杂、完整的评估指标体系以表征生态系统和生物多样性状况

是十分必要的^[44]。此外,准确的监测需要大量的指标集,但用于监测的指标集往往并不充足,从而阻碍了对特定目标的准确监测^[45]。由于监测和评估数据的可得性、科学性以及成本控制、时空尺度等多种因素的限制,在实际操作过程中,不能机械地将所有属性特征都纳入生物多样性保护成效评估指标体系^[41,46]。因此,为了科学有效地评估生物多样性保护成效,其评估指标体系的构建应具有代表性、典型性、科学客观性、实用性、可操作性和易理解性^[39,41]。

4 保护成效评估方法

生物多样性保护成效评估主要使用综合评分法,即通过对指标量化、数值标准化、权重设置等步骤,计算出综合分数/综合指数以评价生物多样性保护成效。评估指标筛选的方法有频度法、专家法和层次分析法等^[38]。然而,不同的标准化方法会得到不同的数据,从而导致评估结论不一致^[47]。对于指标权重的设置,多采用层次分析法、模糊评价法、灰色系统理论等方法对参评指标体系进行归一化处理^[23],但这些方法本身存在一定的主观性与随意性,也会制约评估结果的准确性与可信度^[47]。例如,Bottero 等^[48]采用层次分析法对 2 个准则层(因素、限制)的 7 个指标进行权重设置获取综合得分评估了意大利瓦雷泽省生物多样性保护成效;朱颖等^[49]采用层次分析法-变异系数法-综合指数法对太湖国家湿地公园保护成效进行了评估。

通过对评价区域政策或措施实施前后直接对比或采用与评估对象环境本底相似的外部区域作为“空白对照样本”的配对分析法也常被应用于评判生物多样性保护成效评估相关指标的变化^[50—51]。例如,von Staden 等^[52]采用配对分析法对南非普马兰加省的关键生物多样性区域进行了保护成效评估。此类方法如倾向评分配比算法(PSM)^[53]和差异的差异模型(DID)^[54]也被广泛应用于保护成效的评估。

“红绿灯”法被广泛应用于全球生物多样性保护成效评估^[40]。“红绿灯”法可直观得出评估指标的发展方向(正向、负向、无明显变化)。该方法的关键在于确定指标的参照基准值/标准值。基于指标值和评估的基期值或标准值之间的定量比较,从而评判指标在评估期内发生的变化和趋势^[55]。例如,徐丹丹等^[56]建立了一套基于参照基准的生物多样性保护成效评估方法。此外,保护空缺分析^[57—58]和情景分析^[59]也是评估生物多样性保护成效常用的方法。

因此,本研究建议生物多样性保护成效评估方法主要有两个思路:一是基于多元数据对比分析生物多样性保护策略实施前后各指标的评估期与基期数值的差异;二是通过选择相似的生态空间范围内生态系统质量较好的区域作为参照基准进行对比分析。

5 结论和建议

尽管全球生物多样性保护成效评估在指标体系和评价方法上有所进展,但仍然存在多重阻碍。尤其在评估指标体系方面,长期监测数据的缺乏和自然禀赋的空间异质性导致不同区域间的评估结果可比性较差。因此,制定统一的指标体系来评估全球/区域的生物多样性保护成效变得困难。为应对这些问题,现提出以下研究建议:

(1) 加强对全球生物多样性保护成效评估理论和方法技术的总结。积极跟踪全球重大生物多样性保护成效评估研究进展,结合已有的评估理论、技术方法及指标体系,构建一套简单、科学、易操作且适合我国国情和区域特点的生物多样性保护成效评估指标体系。

(2) 完善我国生物多样性全面监测网络建设。科学评估离不开长期观测数据的验证,应进一步加强对生物多样性的监测,特别是对国家保护和濒危物种的连续监测。此外,需要优化生物多样性监测数据信息服务共享平台,提高数据的利用率和社会价值。

(3) 构建以生态保护重要区域为主体的、大尺度的生物多样性保护成效评估指标体系。评估指标应能直接反映生物多样性要素,如环境质量、物种多样性、景观格局、生态系统等,结合长期监测数据以及 3S 等技术手段,实现快速、系统地评估。

(4) 发展地方生物多样性保护成效评估指标体系。将生物多样性保护成效评估与地方管理部门绩效挂钩,能有效促进地方政府对生物多样性保护工作的积极性与主动性。考虑到指标的繁杂性和数据获取的难点,应科学合理地筛选易获取的、具有针对性的指标,以更友好地支持地方政府开展评估工作。

参考文献 (References):

- [1] 中国国务院新闻办公室.《中国的生物多样性保护》白皮书. 新华社, 2021-10-08. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/08/content_5641289.htm.
- [2] 中国生态环境部. 中国生物多样性保护战略与行动计划(2011—2030年). 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [3] 曹铭昌, 乐志芳, 雷军成, 徐海根. 全球生物多样性评估方法及研究进展. 生态与农村环境学报, 2013, 29(1): 8-16.
- [4] 赵士洞, 张永民. 生态系统与人类福祉——千年生态系统评估的成就、贡献和展望. 地球科学进展, 2006, 21(9): 895-902.
- [5] CBD (Convention on biological diversity). Global biodiversity outlook 5. Montreal, Canada: Secretariat of the CBD, 2020.
- [6] 王伟, 辛利娟, 杜金鸿, 陈冰, 刘方正, 张立博, 李俊生. 自然保护区保护成效评估: 进展与展望. 生物多样性, 2016, 24(10): 1177-1188.
- [7] 中国生态环境部. 自然保护区生态环境保护成效评估标准(试行): HJ 1203—2021. 2021. <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwh/other/qt/202111/W020211126591363267043.pdf>. (Accessed 2023-07-20)
- [8] 王伟, 李俊生. 中国生物多样性就地保护成效与展望. 生物多样性, 2021, 29(2): 133-149.
- [9] 宋瑞玲, 姚锦仙, 吴恺悦, 张晓川, 吕植, 朱争光, 殷丽洁. 海洋保护区管理与保护成效评估的方法与进展. 生物多样性, 2018, 26(3): 286-294.
- [10] Hockings M. Systems for assessing the effectiveness of management in protected areas. BioScience, 2003, 53(9): 823-832.
- [11] Lessmann J, Fajardo J, Bonaccorso E, Bruner A. Cost-effective protection of biodiversity in the western Amazon. Biological Conservation, 2019, 235: 250-259.
- [12] 李春峰, 韩晓盈, 屈庆贺. 地方级自然保护区生态环境保护成效评估技术方法研究. 环境科学与管理, 2022, 47(6): 190-194.
- [13] 辛利娟, 王伟, 靳勇超, 刁兆岩, 李俊生. 全国草地类自然保护区的成效评估指标. 草业科学, 2014, 31(1): 75-82.
- [14] 汤博, 王伟, 靳永超, 辛利娟. 森林类型自然保护区生态保护研究进展. 安徽农业科学, 2017, 45(11): 60-62, 66.
- [15] 路春燕, 王宗明, 刘明月, 欧阳玲, 贾明明, 毛德华. 松嫩平原西部湿地自然保护区保护有效性遥感分析. 中国环境科学, 2015, 35(2): 599-609.
- [16] 辛利娟, 靳勇超, 朱彦鹏, 罗建武, 王亮, 陈冰, 王伟. 中国荒漠类自然保护区保护成效评估指标及其应用. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1693-1699.
- [17] 王金凤, 徐基良, 李建强, 周春发, 邓文洪. 基于动物适宜栖息地的北京市自然保护区保护成效评估. 生态学报, 2022, 42(19): 7807-7817.
- [18] 吴之见, 杜思敏, 黄云, 郑博福, 谢泽阳, 罗诚康, 万飞, 朱锦奇. 基于生态系统生产总值核算的生态保护成效评估——以赣南地区为例. 生态学报, 2022, 42(16): 6670-6683.
- [19] 侯鹏, 翟俊, 曹巍, 杨旻, 蔡明勇, 李静. 国家重点生态功能区生态状况变化与保护成效评估——以海南岛中部山区国家重点生态功能区为例. 地理学报, 2018, 73(3): 429-441.
- [20] 侯鹏, 高吉喜, 万华伟, 施佩荣, 王永财, 孙晨曦. 陆地生态系统保护修复成效评估研究进展及主要科学问题. 环境生态学, 2021, 3(4): 1-7.
- [21] 江波, 王晓媛, 杨梦斐, 蔡金洲. 生态系统服务研究在生态红线政策保护成效评估中的应用. 生态学报, 2019, 39(9): 3365-3371.
- [22] 黄斌斌, 郑华, 肖蕊, 孔令桥, 欧阳志云, 王效科. 重点生态功能区生态资产保护成效及驱动力研究. 中国环境管理, 2019, 11(3): 14-23.
- [23] 王昌海. 自然保护区生态保护与发展研究进展与展望. 林业经济, 2019, 41(10): 3-9, 31.
- [24] 左丹丹, 罗鹏, 杨浩, 牟成香, 李月蛟, 莫利, 李婷, 罗川, 李红林, 吴素娟. 保护地空间邻近效应和保护成效评估——以若尔盖湿地国家级自然保护区为例. 应用与环境生物学报, 2019, 25(4): 854-861.
- [25] 韦惠兰, 杨凯凯. 秦岭自然保护区保护成效评估. 生态经济: 学术版, 2013, (1): 374-379, 383.
- [26] 张德铨, 胡忠俊, 祁威, 吴雪, 摆万奇, 李兰晖, 丁明军, 刘林山, 王兆锋, 郑度. 基于 NPP 数据和样区对比法的青藏高原自然保护区保护成效分析. 地理学报, 2015, 70(7): 1027-1040.
- [27] 邵全琴, 樊江文, 刘纪远, 黄麟, 曹巍, 徐新良, 葛劲松, 吴丹, 李志强, 巩国丽, 聂学敏, 贺添, 王立亚, 邴龙飞, 李其江, 陈卓奇, 张更权, 张良侠, 杨永顺, 杨帆, 周万福, 刘璐璐, 祁永刚, 赵国松, 李愈哲. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估. 地理学报, 2016, 71(1): 3-20.
- [28] 秦乐, 朱彦鹏, 任月恒, 李博炎, 付梦娣, 李俊生. 青藏高原国家级自然保护区管理能力差异及其对保护成效的影响. 生物多样性, 2022, 30(11): 183-191.
- [29] 孙晓萌, 彭本荣. 中国生态修复成效评估方法研究. 环境科学与管理, 2014, 39(7): 153-157.
- [30] 宋瑞玲, 王昊, 张迪, 吕植, 朱子云, 张璐, 刘炎林, 才文公保, 吴岚. 基于 MODIS-EVI 评估三江源高寒草地的保护成效. 生物多样性, 2018, 26(2): 149-157.

- [31] 郭子良, 张曼胤, 刘魏魏, 刘振杰, 张余广. 三个时期河北衡水湖国家级自然保护区景观格局和保护成效分析. 湿地科学, 2021, 19(2): 170-177.
- [32] 陈子琦, 侯光雷, 张艳红, 董凯凯, 刘兆礼. 面向生态系统结构的生物多样性保护成效空间对比评估. 生态学报, 2023, 43(7): 2793-2799.
- [33] 郭子良, 崔国发, 王小平, 那拉苏, 郑姚闽, 张曼胤, 崔丽娟. 内蒙古阿鲁科尔沁国家级自然保护区景观动态及保护成效. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2649-2656.
- [34] 高吉喜, 刘晓曼, 王超, 王勇, 付卓, 侯鹏, 吕娜. 中国重要生态空间生态用地变化与保护成效评估. 地理学报, 2021, 76(7): 1708-1721.
- [35] 陈子琦, 董凯凯, 张艳红, 侯光雷, 刘兆礼. 全国重要生态功能区生物多样性保护成效区域对比评估. 生态学报, 2022, 42(13): 5264-5274.
- [36] 栗忠飞, 刘海江. 2011 和 2019 年生物多样性维护型国家重点生态功能区状态及变化评估. 生态学报, 2021, 41(15): 5909-5918.
- [37] 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 宫鹏. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. 科学通报, 2012, 57(4): 207-230.
- [38] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. 生态学报, 2017, 37(2): 341-348.
- [39] UNEP-WCMC (United nations environment programme - world conservation monitoring centre). International expert workshop on the 2010 biodiversity indicators and post-2010 indicator development. Cambridge, UK: UNEP-WCMC, 2009.
- [40] Secretariat of the CBD. Biodiversity indicators and the 2010 target: Outputs, experiences and lessons learnt from the 2010 biodiversity indicators partnership. Montreal, Canada: CBD Technical Series No. 53, 2010.
- [41] Mace G M, Baillie J E M. The 2010 biodiversity indicators: challenges for science and policy. Conservation Biology, 2007, 21(6): 1406-1413.
- [42] 李吴民. 生物多样性评价动态指标体系与替代性评价方法研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [43] 徐德琳, 邹长新, 林乃峰, 王燕, 徐梦佳, 吴丹, 曹秉帅. 生态保护红线保护成效评估指标体系构建. 生态与农村环境学报, 2020, 36(12): 1562-1568.
- [44] Kuempel C D, Chauvenet A L M, Possingham H P. Equitable representation of ecoregions is slowly improving despite strategic planning shortfalls. Conservation Letters, 2016, 9(6): 422-428.
- [45] Shepherd E, Milner-Gulland E J, Knight A T, Ling M A, Darrah S, van Soesbergen A, Burgess N D. Status and trends in global ecosystem services and natural capital: assessing progress toward aichi biodiversity target 14. Conservation Letters, 2016, 9(6): 429-437.
- [46] Walpole M, Almond R E A, Besançon C, Butchart S H M, Campbell-Lendrum D, Carr G M, Collen B, Collette L, Davidson N C, Dulloo E, Fazel A M, Galloway J N, Gill M, Goverse T, Hockings M, Leaman D J, Morgan D H W, Revenga C, Rickwood C J, Schutyser F, Simons S, Stattersfield A J, Tyrrell T D, Vié J C, Zimsky M. Tracking progress toward the 2010 biodiversity target and beyond. Science, 2009, 325(5947): 1503-1504.
- [47] 李果, 吴晓蕾, 罗遵兰, 李俊生. 构建我国生物多样性评价的指标体系. 生物多样性, 2011, 19(5): 497-504.
- [48] Bottero M, Comino E, Duriavig M, Ferretti V, Pomarico S. The application of a multicriteria spatial decision support system (MCSOSS) for the assessment of biodiversity conservation in the province of Varese (Italy). Land Use Policy, 2013, 30(1): 730-738.
- [49] 朱颖, 林静雅, 赵越, 冯育青, 张铭连. 太湖国家湿地公园生态恢复成效评估研究. 浙江农业学报, 2017, 29(12): 2109-2119.
- [50] 王伟, 周越, 田瑜, 李俊生. 自然保护地生物多样性保护研究进展. 生物多样性, 2022, 30(10): 52-65.
- [51] Ren G P, Young S S, Wang L, Wang W, Long Y C, Wu R D, Li J S, Zhu J G, Yu D W. Effectiveness of China's national forest protection program and nature reserves. Conservation Biology, 2015, 29(5): 1368-1377.
- [52] von Staden L, Lötter M C, Holness S, Lombard A T. An evaluation of the effectiveness of critical biodiversity areas, identified through a systematic conservation planning process, to reduce biodiversity loss outside protected areas in south Africa. Land Use Policy, 2022, 115: 106044.
- [53] 陈冰, 刘方正, 张玉波, 杜金鸿, 王伟, 李俊生. 基于倾向评分配比法评估苍山自然保护区的森林保护成效. 生物多样性, 2017, 25(9): 999-1007.
- [54] Feng Y H, Wang Y P, Su H J, Pan J M, Sun Y F, Zhu J L, Fang J Y, Tang Z Y. Assessing the effectiveness of global protected areas based on the difference in differences model. Ecological Indicators, 2021, 130: 108078.
- [55] Peterson G D, Cumming G S, Carpenter S R. Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world. Conservation Biology, 2003, 17(2): 358-366.
- [56] 徐丹丹, 侯光雷, 董凯凯, 何洪林, 刘兆礼. 基于参照基准的湿地生物多样性保护成效区域对比评估. 湿地科学, 2018, 16(2): 120-129.
- [57] Huang C B, Zhou Z X, Peng C H, Teng M J, Wang P C. How is biodiversity changing in response to ecological restoration in terrestrial ecosystems? A meta-analysis in China. The Science of the Total Environment, 2019, 650(Pt 1): 1-9.
- [58] 肖璐瑶, 张勘, 朱玉东, 束潇潇, 郑普阳, 王远飞, 梁福轩, 谢锋. 大凉山保护空缺分析与四川栗子坪国家级自然保护区保护成效评估. 生态学报, 2023, 43(11): 4502-4514.
- [59] Mitchell M, Lockwood M, Moore S A, Clement S. Scenario analysis for biodiversity conservation: a social-ecological system approach in the Australian Alps. Journal of Environmental Management, 2015, 150: 69-80.