



•综述• 创刊30周年纪念专辑

# 自然保护地生物多样性保护研究进展

王伟<sup>1,2</sup>, 周越<sup>1,2</sup>, 田瑜<sup>1,2</sup>, 李俊生<sup>3\*</sup>

1. 中国环境科学研究院国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012; 2. 中国环境科学研究院生态研究所, 北京 100012; 3. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055

**摘要:** 建立自然保护地是保护生物多样性最为重要的措施之一。总体来看, 自然保护地生物多样性保护研究主要围绕关键生态系统以及珍稀濒危物种等保护对象的状态以及变化两个层面进行, 并重点关注自然保护地数量与面积、保护了多少重要生态系统和物种、能否有效保护生物多样性等一系列科学问题。然而, 在自然保护地生物多样性保护研究方面, 还缺少针对上述研究领域的系统性综述。为此, 本文系统梳理了自然保护地空间布局及其与生物多样性分布的关系、自然保护地生物多样性变化及其保护成效等近20年来相关领域的研究进展。自然保护地的空间布局以及生物多样性分布的关系主要围绕自然保护地与生物多样性在某一阶段的状态开展研究, 致力于探究自然保护地“保护多少”“代表性如何”“在哪儿保护”等一系列关键科学问题。同时, 自然保护地内的生物多样性会随着气候变化、人类活动以及自身演替等发生时空动态变化, 基于自然保护地生物多样性变化分析, 各国学者在全球尺度、国家尺度和单个自然保护地进行了大量的保护成效评估研究, 并逐渐发展出了自然保护地内外配对分析方法以提升保护成效评估的精度, 进而识别出不同自然保护地的主要影响因素。在此基础上, 本文进一步对自然保护地生物多样性保护研究提出了展望, 主要包括: (1)综合考虑自然保护地生物多样性状态和变化; (2)开展多目标协同的自然保护地空间优化布局; (3)强化自然保护地主要保护对象的识别、调查与监测; (4)提升自然保护地的质量和连通性; (5)探究自然保护地管理措施与保护成效的关联机制。本文可为“2020年后全球生物多样性框架”的制定与实施特别是在自然保护地体系建设与优化方面提供参考与借鉴。

**关键词:** 爱知目标; 保护成效; 代表性; 国家公园; 生物多样性关键区; 自然保护区; 2020年后全球生物多样性框架

王伟, 周越, 田瑜, 李俊生 (2022) 自然保护地生物多样性保护研究进展. 生物多样性, 30, 22459. doi: 10.17520/biods.2022459.

Wang W, Zhou Y, Tian Y, Li JS (2022) Biodiversity conservation research in protected areas: A review. Biodiversity Science, 30, 22459. doi: 10.17520/biods.2022459.

## Biodiversity conservation research in protected areas: A review

Wei Wang<sup>1,2</sup>, Yue Zhou<sup>1,2</sup>, Yu Tian<sup>1,2</sup>, Junsheng Li<sup>3\*</sup>

1 State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

2 Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

3 Command Center for Comprehensive Survey of Natural Resources, China Geological Survey Bureau, Beijing 100055

### ABSTRACT

**Background & Aims:** The establishment of protected areas (PAs) is one of the most important measures to protect biodiversity. Generally speaking, recent studies on biodiversity conservation in PAs have focused on key ecosystems and rare and endangered species, and explored the status and changes of these conservation objects. There have been a series of scientific debates on issues such as the number and size of PAs, how many important ecosystems and species can be protected in PAs, and whether PAs effectively protect biodiversity. However, there are still few systematic reviews of the above-mentioned research issues; thus, this paper systematically covers research progress in these fields in recent years, from the spatial layout of PAs and their relationship to the distribution of biodiversity, to biodiversity change and the conservation-effectiveness of PAs.

**Advances:** Studies on the spatial layout of PAs and biodiversity distribution generally focused the status of biodiversity,

收稿日期: 2022-08-11; 接受日期: 2022-10-24

基金项目: 国家自然科学基金(32171664)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lijunsheng001@mail.cgs.gov.cn

mainly investigating topics we label as “how much is enough?”, “representativeness and conservation gaps”, and “where to protect?”. Based on the analysis of biodiversity changes in PAs, scholars from different countries have conducted substantial research on conservation-effectiveness assessment at the global, national, and individual-PA scale, and gradually developed a method of pairwise analysis inside and outside of PAs to improve the accuracy of assessments.

**Prospects:** We conclude by proposing a potential future studies on biodiversity conservation in PAs, which mainly include: (1) Integrating studies on conservation status and biodiversity change in PAs; (2) Studying the optimal spatial layout of PAs under multi objectives; (3) Strengthening the identification, investigation, and monitoring of major conservation objects in PAs; (4) Improving the quality and connectivity of PAs; and (5) Exploring the relationship between management measures and conservation effectiveness of PAs. We hope this paper can provide a reference for the formulation and implementation of the Post-2020 Global Biodiversity Framework, especially in the construction and optimization of PAs in the next 10 years.

**Key words:** the Aichi biodiversity targets; conservation effectiveness; representativeness; national parks; key biodiversity areas; nature reserves; Post-2020 Global Biodiversity Framework

建立自然保护区是保护生物多样性最为重要的措施之一。按照世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)的定义,自然保护区是一个明确界定的地理空间,通过法律或其他有效方式获得认可、得到承诺和进行管理,以实现对自然及其所拥有的生态系统服务和文化价值的长期保护(Dudley et al, 2016)。1992年6月,为了地球上生物多样性的保护和可持续利用这个共同目标,150多个国家共同签署了《生物多样性公约》,并于1993年12月29日正式生效。《生物多样性公约》第八条对各个缔约方在自然保护区生物多样性保护方面提出了明确的要求,如建立自然保护区体系、恢复退化的生态系统、促进受威胁物种的保护与种群恢复、防控外来入侵物种等(王伟和李俊生, 2021)。2010年《生物多样性公约》第十次缔约方大会(COP10)制定了“爱知生物多样性目标”(“爱知目标”),进一步量化了自然保护区建设与管理的相关指标(目标11):到2020年,保护至少17%的陆地和内陆水域以及至少10%的沿海和海洋区域;同时,保护生物多样性重要区域以及保护重要生态系统及物种;实现公平有效地管理自然保护区,并形成有效的自然保护区网络(Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014)。2021年10月,《生物多样性公约》第十五次缔约方大会(COP15)第一阶段会议在中国昆明顺利举办,发布了《昆明宣言》等重要文件;2022年12月,COP15第二阶段会议将在加拿大蒙特利尔举行,以推动达成一个凝聚广泛共识、既雄心勃勃又务实可行的“2020年后全球生物多样性框架”。根据框架的草案初稿,各国科学家正在商讨将全球至少30%的陆地

和海洋地区划入自然保护区或其他有效的基于区域的保护措施(other effective area-based conservation measures, OECMs)中(<https://www.cbd.int/conferences/post2020/wg2020-04/documents>)。

为确保最迟在2030年使生物多样性走上恢复之路,进而全面实现“人与自然和谐共生”的2050年愿景,优化和建立有效的自然保护区体系成为了世界各国一致的目标。近年来,随着“2020年后全球生物多样性框架”的制定进程日益临近,自然保护区生物多样性保护领域的研究也不断深入。总体来看,该领域研究主要围绕关键生态系统以及珍稀濒危物种等保护对象,从这些保护对象的状态和变化两个层面进行研究,并重点关注自然保护区数量与面积、保护了多少重要生态系统和物种、能否有效保护生物多样性等一系列科学问题。然而,在自然保护区生物多样性保护研究方面,还缺少针对上述研究领域的系统性综述。

为此,本文旨在系统梳理近20年特别是近10年来自然保护区生物多样性保护研究所取得的主要进展,从自然保护区空间布局以及与生物多样性分布的关系、自然保护区内生物多样性的变化等方面,整理和综述了国内外近年来的相关报道,并对未来发展方向提出展望,以期“2020年后全球生物多样性框架”的制定与实施特别是在自然保护区体系建设与优化方面提供参考与借鉴。

## 1 自然保护区空间布局以及与生物多样性分布的关系

自然保护区的空间布局以及与生物多样性分布的关系主要围绕自然保护区与生物多样性在某

一阶段的状态开展研究, 致力于探究自然保护地“保护多少”“代表性如何”以及“在哪儿保护”等一系列关键科学问题。

### 1.1 保护多少?

全球需要建设多少自然保护地才能真正有效保护足够的生物多样性, 一直是各国学者关注的一个重点问题(Baillie & Zhang, 2018)。早在《生物多样性公约》第七次缔约方大会通过的2010年自然保护地相关目标中, 就包括“使世界上每个生态区(ecoregion)至少10%的面积得到有效保护”的目标(Coad et al, 2009)。随后的“爱知目标”将这一目标进一步提高至到2020年保护至少17%的陆地和内陆水域以及至少10%的沿海和海洋区域。2021年, 联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)发布的《2020保护地球报告》显示, 如今全球所有记录的自然保护地和受保护区域(conserved areas)占陆域和海域的比例分别达到16.64%和7.74%; 考虑到许多自然保护地和受保护区域尚未被统计, 该报告认定在统计全部数据后, 陆地自然保护地和受保护区域的覆盖率将大大超过17%的目标(UNEP-WCMC & IUCN, 2021)。然而, 一些学者认为由于这个目标是政治驱动的, 严重低于许多科学研究结果所提出的保护目标(Noss et al, 2012), 因此近年来许多学者都提出了到2030年自然保护地和受保护区域应覆盖全球30%的陆地、淡水和海洋的目标(Baillie & Zhang, 2018; Dinerstein et al, 2019)。这一目标已被写入“2020年后全球生物多样性框架”的草案初稿中, 目前已得到超过100个国家的支持(<https://www.hacfornatureandpeople.org>)。

近年来, 各国学者也愈发加强了对受保护区域的关注。这里提的受保护区域的概念, 是指自然保护地以外的一些其他有效的基于区域的保护措施(OECMs), 根据《生物多样性公约》的定义, OECMs指“自然保护地以外的地理定义地区, 对其治理和管理为推动生物多样性就地保护起到了积极、持续的作用, 并取得相关的生态系统功能和服务, 以及在适用情况下实现文化、精神、社会经济价值和其他与当地相关的价值”(靳彤等, 2022), 例如政府经营的集水区、原住民和当地社区保护的区域, 以及一些私人保护措施等(Maxwell et al, 2020)。这些区域可以由当地社区自发组织或一些社会组织通过

与政府或当地社区合作等方式保护自然保护地外重要的生态系统、栖息地和野生动物廊道, 可以作为自然保护地的有益补充, 对于提升自然保护地之间生物多样性保护的连通性方面具有重要意义(IUCN-WCPA Task Force on OECMs, 2019; Bhola et al, 2021)。Harvey Locke在2009年第9届世界荒野大会(World Wilderness Congress)中提出了在全球尺度应设置至少50%的区域用于自然保护地或OECMs(曹越等, 2019)。当代著名生物学家威尔逊(E. O. Wilson)也呼吁将50%的陆地及海洋区域设置为某种形式的自然保护地或OECMs, 并估算这些区域能够保护85%的物种免于灭绝(Wilson, 2016)。我国魏辅文院士团队进一步建议设定一系列里程碑目标, 以实现50%的目标: 到2030年, 维护1/4个地球以保持完整、具有功能和连续的生态系统支持自然与人类的可持续性, 同时解决其他生物多样性丧失的直接驱动因素; 到2040年, 将这个比例增加到1/3个地球; 到2050年, 将这个比例增加到1/2个地球, 并最终实现2050年愿景——“天人合一”(Ma et al, 2020)。

### 1.2 代表性如何?

自然保护地代表性是通过集成并利用已有的信息(如物种分布数据库、植被类型分布图、现有的自然保护地体系等), 来确定重要生态系统及重要物种在当前的自然保护地中是否被保护, 并寻找保护的空白地区(conservation gaps), 进而在土地管理实践中通过新建自然保护地来填补这些保护空白, 这最早由Scott等(1993)在夏威夷付诸实践。随后在美国地质调查局Gap分析计划(gap analysis project)的推动下, 陆续在美国各级行政范围内开展了大量关于自然保护地代表性方面的研究(<https://www.usgs.gov/programs/gap-analysis-project>)。各国学者也分别在全球、国家、区域等不同尺度, 探究自然保护地是否覆盖了足够的重要生态系统和重要物种。

在生态系统方面, 全球尺度的研究可快速为当前全球自然保护地的布局是否合理提供依据。《2020保护地球报告》发现, 自2010年以来, 自然保护地和受保护区域网络覆盖且代表了世界越来越多的生态系统类型, 821个陆地生态区中有44.5%达到了17%的目标, 而232个海洋生态区中有47.4%达到了10%的目标(UNEP-WCMC & IUCN, 2021)。



Sayre等(2020)进一步基于气候区域、全球地貌、土地利用及植被等数据,将全球划分为431个生态系统,其中278个为自然或半自然生态系统,包括不同种类的林地、灌丛、草地、裸露区和冰雪区,通过这些自然或半自然生态系统与全球自然保护地叠加分析,发现自然保护地对91个生态系统的代表性超过了17%的爱知目标,但仍有41个生态系统被自然保护地的覆盖率不到5%。在国家层面上,美国评估了当前自然保护地网络中生态系统的代表性,发现在低海拔和中等至高生产力土壤中自然保护地对生态系统的代表性不足(Aycrigg et al, 2013)。Oldfield等(2004)通过将英格兰大陆划分为97个自然区域类型,分别作为一个独特的生物地理区域,并通过与国家级自然保护区和具有特殊科学价值的区域进行叠加,发现许多自然区域类型的保护水平非常低,其中77种类型的保护率低于10%,39种类型的保护率低于2%。类似的研究还有厄瓜多尔通过分析不同陆地生态系统类型的保护状况来评价自然保护地网络的代表性(Sierra et al, 2002),发现有7种生态系统尚未被自然保护地覆盖;中国学者研究了2,217个自然保护区对于植被类型的代表性(Wu et al, 2011),发现湿地、草原、荒漠生态系统类型被自然保护区覆盖的比例较高,而森林生态系统类型被自然保护区覆盖的比例较低。

在物种层面的研究,则往往通过获取已知的物种分布点位数据,再结合模型模拟物种的适宜分布范围或潜在栖息地,进而与自然保护地叠加判断物种的保护状况。近年来,随着生物多样性信息学的不断发展,全球生物多样性信息网络(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)、IUCN受威胁物种红色名录空间分布数据、国际鸟盟(BirdLife International)的全球鸟类分布数据等大量开放数据库,为开展自然保护地在物种层面的代表性研究提供了基础保障。在全球尺度,Venter等(2014)评估了自然保护地对4,118种受威胁脊椎动物(陆生鸟类、哺乳动物和两栖动物)的保护状况,发现仍然有17%的受威胁物种未被保护区覆盖。Williams等(2022)进一步评估了全球自然保护地内近4,000种陆地哺乳动物的个体种群的潜在规模,以判断当前全球自然保护地网络能够在多大程度上防止物种局部灭绝,结果发现许多现有的自然保护地太小或连接太

差,几乎无法为所有面临灭绝威胁的哺乳动物物种和目前未受到威胁的1,000多种物种提供足够保护。与陆域脊椎动物相比,围绕植物(Pelletier, et al, 2018)、昆虫(Chowdhury et al, 2022)等类群的保护状况研究则相对不足。在全球海洋自然保护地方面,Klein等(2015)评估了较为严格的自然保护地类型(IUCN I-IV类型)对17,348种海洋物种(鱼类、哺乳动物、无脊椎动物)的覆盖情况,结果发现97.4%的物种分布范围被这些严格自然保护地保护的比例不足10%。在国家尺度以及更精细尺度上,各国学者均针对不同类群开展了大量研究,如Ochoa-Ochoa等(2009)评估了墨西哥自然保护地以及私人 and 社区保护区域对两栖动物的代表性;Bosso等(2013)评估了意大利和邻近地区的自然保护地对受威胁甲虫*Rosalia alpina*的代表性;Guo等(2019)评估了中国湿地保护区网络对于216个国家重点保护物种和129个濒危物种的代表性;Yip等(2004)在香港的精细尺度下针对8种野生动植物类别(两栖类动物、爬行动物、哺乳动物、鸟类、蚂蚁、蝴蝶、蜻蜓以及稀有维管植物)的保护状况进行了分析和评价等。

### 1.3 在哪儿保护?

由于生物多样性在地球上并不是均匀分布的,而且财力、物力、人力等保护资源的投入有限,自然保护地的建设不可能实现对所有生物多样性的全面保护,因此需要优先选择最为重要的区域从而高效地利用保护资源来最大限度地保护与恢复更多的生物多样性。因此,往往需要找到生物多样性最为集中的区域进行优先保护,并在此基础上平衡经济、社会和生态等多重效益,从而实现最优化的自然保护地空间布局。“爱知目标”也把生物多样性重要区域的保护作为了一项重要任务,通过识别生物多样性热点区域(biodiversity hotspots)以及生物多样性关键区(key biodiversity areas, KBAs)等生物多样性重要区域,从而进一步回答“在哪儿保护”这个关键问题。

生物多样性热点区域被认为是本地物种多样性最丰富的地区或是特有物种集中分布的地区,在这些地区优先建立自然保护地,可以实现最大限度地保护区域生物多样性的目的。生物多样性热点区域的概念最早由Myers在1990年提出,并于2000年对其进行修订,包括了全球25个热点区域(Myers et

al, 2000)。随后, 保护国际(Conservation International)对这一方案进行了推广, 目前全球生物多样性热点区域已增加到36个, 在这些区域建设自然保护地并实现物种的有效保护, 可以对全球生物多样性保护产生巨大影响(<https://www.conservation.org/priorities/biodiversity-hotspots>)。Orme等(2005)基于丰富度、特有性和濒危性对鸟类在全球范围的热点区域进行识别, 发现物种丰富度、特有性和濒危性的热点区域并没有表现出相同的地理分布, 说明不同类型的热点作为识别自然保护地的方法也有很大差异。中国的类似研究也发现, 中国脊椎动物和植物的热点区域之间存在明显不一致的情况, 并建议应考虑使用不同的分类群, 根据其不同的生态需求和生活史, 使用不同的方法确定需要建设自然保护地的区域(Xu et al, 2018)。考虑到不同物种类群之间的热点区域存在差异, 而且自然保护地往往分布在较为偏远的区域, 对于人类活动较为密集的区域往往保护不足, 因此学者提出了通过系统保护规划法构建不可替代性(irreplaceability)和脆弱性(vulnerability)优先级指标(Brooks et al, 2006), 即综合考虑生物多样性的互补性原则, 以优化生物多样性保护区域的选择, 同时最大限度地降低保护成本, 从而使用有限的资源实现明确的保护目标(Margules & Pressey, 2000; McIntosh et al, 2017)。

KBAs包括对陆地、淡水和海洋生态系统中濒危动植物至关重要的栖息地, 识别KBAs是在自然生态地理区划基础上对自然保护地数量和规模更加精细化的布局, 从而集中力量开展保护工作。IUCN提出了KBAs的识别技术框架, 目前已更新至version. 1.2 (<https://portals.iucn.org/library/node/49979>), 通过受威胁多样性、地理分布受限生物多样性、生态学完整性、生物学过程及不可替代性的综合定量分析来进行识别(KBA Standards and Appeals Committee of IUCN SSC/WCPA, 2022); 这些标准是数据驱动的、阈值明确的、量化的标准, 能够在一定程度上确保KBAs的识别过程是透明的、客观的且可重复的, 评估结果不会因为评估人员的知识背景的不同而不同(赵莉娜等, 2016)。根据2020年的统计, 全球已识别大约16,000个KBAs。此外各国专家针对不同类群的KBAs识别也开展了大量广泛研究, 世界上已有170多个国家和地区识别了重要的鸟类区域和植物

区域(Langhammer et al, 2007b), 例如国际鸟盟在世界范围内确定了13,000多个鸟类和生物多样性重要区(IBAs)。此外, 中国学者还利用土地覆盖、归一化植被指数和夜间灯光数据等, 从植被覆盖度和人类活动方面分别对“一带一路”沿线地区KBAs的生态状况进行了评估(Wang et al, 2022)。通过KBAs的识别、排序与空缺分析, 可以为自然保护地网络的扩展提供重要基础(Langhammer et al, 2007a), 成为评估全球生物多样性目标进展情况的重要手段。近年的研究表明全球约有55.8%的KBAs已被自然保护地所覆盖, 当进一步将全球KBAs内0.36%的陆地区域划为自然保护地, 则可以将受威胁脊椎动物的保护覆盖率平均提高约14.7% (Kullberg et al, 2019)。

## 2 自然保护地生物多样性保护变化与保护成效

自然保护地内的生物多样性会随着气候变化、人为活动以及自身演替等发生时空动态变化, 因此, 通过在自然保护地内进行长期野外监测获取科学的连续数据来反映自然保护地内生物多样性的变化, 一直是各国学者关注的热点问题。此外, 自然保护地作为生物多样性保护的核心区域之一, 是否能够有效保护区域内的生态系统以及野生动植物, 即自然保护地保护成效及其影响因素研究, 也是自然保护地领域的一个关键科学问题。

### 2.1 动态变化分析

自然保护地内生物多样性的动态变化研究往往围绕生物多样性的要素如生态系统、物种展开, 其中土地覆盖/利用和景观格局变化是分析自然保护地生物多样性变化的基础。随着最近几十年来遥感技术以及地理信息系统技术的飞速发展, 围绕自然保护地内土地覆盖/利用和景观格局变化开展了大量研究。总体来看, 尽管气候变化及人为干扰等对生物多样性的影响不断加剧, 但相比自然保护地外, 自然保护地内的土地覆盖/利用和景观格局变化通常较小(Nagendra, 2008; Rodríguez-Rodríguez et al, 2019), 体现了自然保护地在应对外界干扰时的稳定性。从生态系统来看, 自然保护地内森林(Armenteras et al, 2003; Clerici et al, 2020; Liu et al, 2022)、湿地(靳勇超等, 2014; Xu et al, 2019)、草原

(杜金鸿等, 2017)、荒漠(郑凯, 2013<sup>①</sup>)、海洋(李利红等, 2013)等生态系统的变化研究虽均有所涉及, 但围绕自然保护区内森林和湿地生态系统变化方面的研究比在草原、荒漠及海洋生态系统变化方面的研究相对较多(辛利娟等, 2014, 2015; 宋瑞玲等, 2018)。从物种层面来看, 各国学者多围绕自然保护区重点保护的珍稀濒危物种或旗舰物种开展了较为系统的监测, 因此对于这些物种的种群数量变化了解得比较清楚。最为突出的案例是中国在大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)保护与研究方面(Fan et al, 2020), 建设了67个自然保护区对大熊猫进行保护, 目前其种群数量增加、栖息地扩大, 增加了生存机会, 降低了灭绝风险, 在2016年发布的《IUCN濒危物种红色名录》中, 其濒危等级经过重新评估后从濒危下调为易危(蒋志刚, 2016)。不过, 除这类受关注较多的物种外, 许多物种都面临数据本底资料不足等问题, 其数量、分布、受威胁程度等仍有待进一步查明(王伟和李俊生, 2021; Williams et al, 2022)。

与自然保护区外相比, 虽然总体上自然保护区在生物多样性各个层级体现了相对积极的变化, 但也有一些案例表明, 有些自然保护区内的生物多样性要素发生了明显恶化的趋势。例如, 研究表明, 由于流域污染物径流、气候变化以及渔业的影响, 澳大利亚大堡礁(Great Barrier Reef)世界自然遗产地的许多物种和生态系统状况不佳, 而且还在继续恶化(Brodie & Pearson, 2016); 中国在保护大熊猫的自然保护区中, 尽管对大熊猫保护取得了显著成效, 但保护区内豹(*Panthera pardus*)、雪豹(*P. uncia*)、狼(*Canis lupus*)、豺(*Cuon alpinus*)等大型食肉动物种群数量出现了明显下降(Li et al, 2020); 另外, 中国为保护长臂猿而设立的自然保护区中, 长臂猿的栖息地存在退化现象(Zhang et al, 2010), 物种的种群数量也出现减少的情况(Zhang et al, 2021)。

为了获取自然保护区内生物多样性的动态变化数据, 需要开展长期系统的连续监测, 因此世界各国纷纷在自然保护区内建立了大量生物多样性监测网络和野外台站, 通过现场对生态系统和物种等的定量监测数据来衡量生物多样性的变化情况

(Geldmann et al, 2021)。例如, 据初步统计, 目前中国生态系统研究网络(CERN)、中国森林生物多样性监测网络(CForBio)、国家陆地生态系统定位观测研究网络(CTERN)、国家生态系统观测研究网络(CNERN)等生物多样性主要监测网中, 位于自然保护区内的监测站点超过100个。自然保护区生物多样性调查监测一般依靠卫星遥感解译结合地面样线样方调查, 以及通过GPS跟踪项圈和红外相机监测等手段。近年来, 随着小型轻量级无人机低空遥感技术的飞速发展, 该技术已能在任意时间内收集足够精细空间分辨率的影像和空间数据, 并在自然保护区生态环境探测、航摄测绘、生境预测与变化分析等方面发挥着越来越重要的作用(刘方正等, 2018)。

## 2.2 保护成效评估

“爱知目标”对自然保护区的建设管理及保护成效提出了明确要求, 并将“增进生物多样性和生态系统服务给所有人带来的惠益”作为一项战略目标(Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014)。自然保护区保护成效评估即是研究自然保护区在维持生物多样性和保障生态系统服务等方面的综合成效, 从而判断自然保护区在多大程度上实现了预期的保护目标(王伟等, 2016)。近年来, 自然保护区保护成效成为研究的热点, 世界各国学者在全球尺度、国家尺度以及单个自然保护区进行了大量的研究。其中, 全球和国家等大尺度的研究可以快速评判所有自然保护区在某项生物多样性要素方面的保护成效, 并在一定程度上进行横向对比(王伟等, 2016)。例如, 全球尺度上, Tang等(2011)基于归一化植被指数对全球1,015个大型自然保护区的保护成效进行了研究, 整体来看自然保护区在保护植被生产力方面取得了较好的保护成效; Yang等(2021)基于全球森林观察(Global Forest Watch)数据, 量化了2000–2015年全球54,792个自然保护区在减缓森林丧失方面的成效, 结果表明大部分自然保护区(71.4%)有助于防止森林丧失。国家尺度上, 研究表明孟加拉国自然保护区内的森林在2010–2018年间破碎化程度加剧, 对自然保护区能否维系生态系统的完整性提出了质疑(Rahman & Islam, 2021); Liu等(2022)进一步分析了中国69处国家级自然保护区不同功能分区对森林的保护成效, 结果表明缓冲区

① 郑凯 (2013) 安西极旱荒漠区植物群落结构变化规律及其机理研究. 硕士毕业论文, 兰州大学, 兰州.



同核心区的森林保护成效相近,且两者的保护成效均优于实验区。相对于全球、国家等大尺度的评估,单个自然保护区的保护成效评估则通常采用较多指标来进行综合评判。例如,辛利娟等(2015)综合考虑自然保护区的完整性、多样性、代表性和稀有性,构建了包括20项评估指标的荒漠自然保护区保护成效评估指标体系,可从不同方面反映荒漠自然保护区主要保护对象的动态变化,并在我国安西极旱荒漠国家级自然保护区进行了案例研究。一些国家也逐渐发展形成了比较成熟的评估标准,如我国原国家林业局2014年发布的“自然保护区保护成效评估技术导则”系列标准,以及我国生态环境部2021年发布的《自然保护区生态环境保护成效评估标准(试行)》(HJ 1203-2021)等。

随着技术方法的不断进步,自然保护区保护成效评估从早期的自然保护区建立前后直接对比(Liu et al, 2001)或自然保护区内外直接对比(Linkie et al, 2004)的方法,逐渐发展出了自然保护区内外配对分析方法(matching)以提升保护成效评估的精度。配对分析方法主要考虑到自然保护区及周边区域的气候、土壤、生物等环境因素在时间或空间上存在一定差异,仅通过简单的自然保护区建立前后或自然保护区内外的对比分析,难以准确判别相关指标的变化是保护工作所取得的成效,还是由于环境因素的差异而导致的(王伟等, 2016),因此需要通过将环境变量的差异通过样本配对的方法进行消除(Joppa & Pfaff, 2010; Ren et al, 2015; Sarathchandra et al, 2018),例如倾向评分分配比算法(Gaveau et al, 2009; 陈冰等, 2017; Feng CT et al, 2021)、差异的差异模型(difference in differences, DID) (Feng YH et al, 2021)等。

### 2.3 影响因素研究

自然保护区的生物多样性变化或保护成效受到气候变化、人为干扰以及相关政策等多种影响因素的共同作用。通过识别最主要的影响因素,并了解这些因素对自然保护区保护成效的作用,是近年来自然保护区生物多样性变化研究的关键科学问题之一。

其中,气候变化对于自然保护区生物多样性变化的影响成为了研究的热点。例如,气候变化导致一些物种为寻找新的适宜栖息地而不断迁徙,有些

物种甚至迁徙到自然保护区外的栖息地上,致使这些物种在自然保护区内消失,将不利于自然保护区对这些物种的有效保护(Klausmeyer & Shaw, 2009; D'Amen et al, 2011)。因此,《生物多样性公约》第十次缔约方大会明确提出“把减缓和适应气候变化纳入自然保护区管理有效性评估”“发展适应性管理和加强自然保护区的管理有效性,解决气候变化对生物多样性产生的影响”等一系列要求。此外,气候变化还会影响自然保护区生态系统的固碳服务,联合国教科文组织(UNESCO)、世界资源研究所(WRI)和IUCN的研究人员估算了2001-2020年间世界自然遗产地内森林吸收和排放的碳总量和净吸收/排放量,发现至少有10个重要的世界自然遗产地在过去20年中成为净碳源(Osipova et al, 2020)。

与气候等自然因素相比,人为因素的作用也会自然保护地生物多样性的变化产生正面或负面的作用,进而影响自然保护区保护成效。尽管自然保护区的设立在一定程度上减缓了人为干扰的影响(Guetté et al, 2018; Feng et al, 2022),但一项全球的研究还是表明,与自然保护区外相比,一些地区如印度-马来亚(the Indomalaya)、非洲热带(the Afrotropics)以及新热带地区(the Neotropics)从1995年到2010年自然保护区内的平均人为干扰程度显著增加(Geldmann et al, 2019)。人为干扰的增加对自然保护区在保护生态系统(Feng et al, 2022)或物种(如大熊猫, Wei et al, 2020)等方面的成效产生了明显的影响。人为干扰与气候变化的共同作用也一直是世界自然遗产地保护最主要的影响因素(Osipova et al, 2020)。此外,自然保护区周边区域所受到的人为干扰有可能因为自然保护区的存在而明显增加,这种现象被称为自然保护区的“泄露效应”(leakage effect),不利于自然保护区的整体保护成效(Ewers & Rodrigues, 2008)。

国家政策也是一个重要的影响因素。近年来的研究也关注了自然保护区降级、缩减和撤销(protected area downgrading, downsizing, and degazettement, PADDD)事件对自然保护区保护成效的影响(Qin et al, 2019)。巴西的一项研究表明大部分PADDD事件与水电和农村居民点有关,说明自然保护区还存在向开发建设让路的情况(Pack et al, 2016)。在刚果、马来西亚和秘鲁的研究也表明

PADDD事件给森林砍伐和森林碳排放带来了重大风险(Forrest et al, 2015)。海洋自然保护区同时也面临着PADDD的影响, 研究发现至少6个国家的海洋自然保护区出现了43项PADDD事件, 其中大部分发生在澳大利亚(Albrecht et al, 2021)。

### 3 展望

本文从自然保护区生物多样性保护状态与变化两个层面, 系统梳理了近年来相关领域的研究进展。在此基础上, 本文从以下几个方面进一步对自然保护区生物多样性保护研究提出了展望。

#### 3.1 综合考虑生物多样性保护状态和变化

过去大量研究往往仅关注其中一个环节, 从而无法体现自然保护区整体保护目标的实现情况。单纯关注自然保护区的面积、数量以及保护比例等目标, 而忽视了其中生物多样性变化的情况, 使得很多自然保护区难以实现有效保护(Nagendra, 2008; di Minin & Toivonen, 2015)。而围绕自然保护区保护成效评估的研究中, 大多数主要关注自然保护区内生物多样性随时间的变化分析, 较少考虑自然保护区的初始背景状态及当前状态的差异, 这可能会过高或过低地评估其保护成效(Feng et al, 2022)。因此, 建议在将来的研究中, 综合考虑自然保护区生物多样性的保护状态和变化, 首先通过代表性分析识别达到保护目标比例的生物多样性要素, 其次通过动态变化分析判断自然保护区对这些生物多样性要素的保护成效, 并结合气候变化、人为活动等影响下可能的变化趋势预测, 以及尚存在的保护空缺和不足, 最后研究提出未来需要在哪儿保护的建议。

#### 3.2 开展多目标协同的空间优化布局

由于生物多样性的不均匀分布, 以及不同生态系统和物种类群之间的关键区域存在差异, 因此单独关注某一类生物多样性要素(或某一关键物种的保护)往往会影响到其他生物多样性要素的保护效果(Li & Pimm, 2016; Li et al, 2020)。除生态系统与物种层次的研究以外, 近年来的学者也关注了自然保护区在遗传多样性(Fan et al, 2021)、谱系多样性(侯勤曦等, 2018; Quan et al, 2018)以及功能多样性(Cottee-Jones et al, 2015)等方面的保护效果。另外, 由于自然保护区在保护生物多样性的同时, 还兼具减缓气候变化(Dinerstein et al, 2019)、提供生态系统

服务(杜金鸿等, 2019)的作用, 因此近年来一些研究也开始逐渐关注自然保护区在多个目标之间的协同作用。例如, 通过分析生物多样性与固碳能力的协同保护作用, 可以探索实现既能优先保护重要的生物多样性地区, 又能减缓气候变化的双赢目标(Soto-Navarro et al, 2020; Jung et al, 2021; Zhu et al, 2021); 亦有学者通过整合生态系统服务和生物多样性的保护目标, 以探究二者的协同保护并进行了空间评估(Cao et al, 2022; Huang et al, 2022)。建议在未来研究中进一步关注自然保护区在生物多样性保护、维系生态系统服务和固碳能力中的综合作用, 通过综合分析这些多目标的协同作用以更加合理有效地规划自然保护区的空间布局, 并结合未来趋势变化预测研判潜在的重要区域。

#### 3.3 强化主要保护对象的识别、调查与监测

识别自然保护区的重点保护对象是开展保护行动最为关键的步骤之一, 即选择出代表和涵盖自然保护区生物多样性的物种、群落、生态系统集合体, 是设定自然保护区保护目标、执行保护行动、评估保护成效的基础(The Nature Conservancy, 2007)。虽然很多自然保护区在设立之初就明确了主要保护对象, 但是因为这些保护对象之间可能存在协同与权衡关系, 因此需要识别哪些是可以用于“粗筛”(coarse filter)的保护对象, 即一旦保护了它们就可以保护一大批与之共生的生态系统或物种; 这类粗筛的保护对象往往是自然保护区内的生态系统或群落, 以及一些“景观物种”(landscape species)(Coppolillo et al, 2004)或“伞护种”。此外, 由于一些主要保护对象的实际分布范围、动态变化仍缺少调查监测, 特别是许多物种都面临数据本底资料不足等问题, 其数量、分布、受威胁程度等仍有待进一步查明, 因此还需要进一步加强自然保护区的本底调查, 并围绕各个自然保护区在实际工作中的需求, 构建科学合理的保护成效评估指标体系, 结合各项指标长期监测数据的动态变化分析, 以实现自然保护区保护成效的系统评估(王伟等, 2016)。

#### 3.4 提升质量和连通性

《2020保护地球报告》提出, 虽然全球陆地自然保护区和受保护区域的覆盖率已达到17%的既定目标, 但保护质量有待提高, 而且各自然保护区之



间需加强连通性, 确保物种可以迁移到新的适应区域并维持生态过程(UNEP-WCMC & IUCN, 2021)。近年来关于自然保护区保护成效的研究也表明, 一些国家的森林生态系统、大型食肉动物等重要保护对象也出现了保护状况不容乐观的情况(Li et al, 2020; Rahman & Islam, 2021)。此外, 由于单一的自然保护区难以有足够大的面积来维持和保护所有的生物多样性, 因此需要提升自然保护区之间的连通性, 建设合适的廊道将这些自然保护区节点连接成为大的自然保护区网络, 从而实现全国或区域尺度生物多样性保护的统筹实施与协调管理(Saura et al, 2017)。“爱知目标”和即将发布的“2020年后全球生物多样性框架”都针对“连通性良好的自然保护区”提出了相应目标(赵智聪和王沛, 2022)。2018年的一项相关研究表明, 全球能够满足“连通性良好”条件的陆地自然保护区仅覆盖了全球7.5%的陆域面积(Saura et al, 2018)。Brennan等(2022)进一步绘制了全球自然保护区的关键连通区域, 并提出减缓人类足迹的干扰可能比增加新的自然保护区更能改善连通性。因此, 需要综合自然保护区空间优化布局、保护成效评估、主要保护对象变化等方面的研究成果, 以识别和明确新建自然保护区及规划廊道的区域, 切实提升自然保护区的质量和连通性。

### 3.5 探究管理措施与保护成效的关联机制

自然保护区的管理措施(如规划、投入、管理过程等)及公平性(如文化认同、知情同意机制、保护负担的分配等)(Zafra-Calvo et al, 2017)与自然保护区保护成效是密不可分的。过去的研究多围绕自然保护区保护对象的变化来评估保护成效, 但由于很多自然保护区缺少公开的管理措施数据, 因此尚不清楚哪些管理措施能够切实有效提升自然保护区的保护成效(Geldmann et al, 2021)。近年来虽然有一些研究探究了自然保护区管理措施对减缓自然保护区人为干扰的作用(Geldmann et al, 2019; Feng CT et al, 2021), 但还未能进一步明确管理措施如何最终实现保护成效的提升。此外, 自然保护区的保护成效往往还受到区域发展的影响, 而自然保护区对所在区域的社会经济发展也可能起到正面或者负面的作用, 进而反过来又影响自然保护区的保护成效(den Braber et al, 2018; Naidoo et al, 2019)。因此, 需要逐步建立自然保护区管理措施的指标库,

公开自然保护区在治理体系、规划设计、管理流程、财务和人员等方面的信息(Geldmann et al, 2021); 然后与反映自然保护区保护成效的关键指标进行关联, 可通过情景分析或机器学习模型, 探究管理措施的改变可能对哪些关键指标起作用, 进而最终影响自然保护区保护成效。同时, 将自然保护区与所在区域的可持续发展结合起来, 进一步探究如何在提升或维持自然保护区保护成效的前提下, 促进自然保护区内及周边区域探索人地和谐的可持续发展模式。

### 参考文献

- Albrecht R, Cook CN, Andrews O, Roberts KE, Taylor MFJ, Mascia MB, Golden Kroner RE (2021) Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) in marine protected areas. *Marine Policy*, 129, 104437.
- Armenteras D, Gast F, Villareal H (2003) Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113, 245–256.
- Aycrigg JL, Davidson A, Svancara LK, Gergely KJ, McKerron A, Scott JM (2013) Representation of ecological systems within the protected areas network of the Continental United States. *PLoS ONE*, 8, e54689.
- Baillie J, Zhang YP (2018) Space for nature. *Science*, 361, 1051.
- Bhola N, Klimmek H, Kingston N, Burgess ND, van Soesbergen A, Corrigan C, Harrison J, Kok MTJ (2021) Perspectives on area-based conservation and its meaning for future biodiversity policy. *Conservation Biology*, 35, 168–178.
- Bosso L, Rebelo H, Garonna AP, Russo D (2013) Modelling geographic distribution and detecting conservation gaps in Italy for the threatened beetle *Rosalia alpina*. *Journal for Nature Conservation*, 21, 72–80.
- Brennan A, Naidoo R, Greenstreet L, Mehrabi Z, Ramankutty N, Kremen C (2022) Functional connectivity of the world's protected areas. *Science*, 376, 1101–1104.
- Brodie J, Pearson RG (2016) Ecosystem health of the Great Barrier Reef: Time for effective management action based on evidence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 438–451.
- Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues ASL (2006) Global biodiversity conservation priorities. *Science*, 313, 58–61.
- Cao Y, Wang F, Tseng TH, Carver S, Chen X, Zhao J, Yu L, Li F, Zhao Z, Yang R (2022) Identifying ecosystem service value and potential loss of wilderness areas in China to support post-2020 global biodiversity conservation. *Science*

- of the Total Environment, 846, 157348.
- Cao Y, Yang R, Martin VG (2019) Nature needs half: A new vision for global protected areas. *Landscape Architecture*, 26(4), 39–44. (in Chinese with English abstract) [曹越, 杨锐, 万斯·马丁 (2019) 自然需要一半: 全球自然保护区新愿景. *风景园林*, 26(4), 39–44.]
- Chen B, Liu FZ, Zhang YB, Du JH, Wang W, Li JS (2017) Assessment of forest conservation in the Cangshan Nature Reserve based on propensity score matching. *Biodiversity Science*, 25, 999–1007. (in Chinese with English abstract) [陈冰, 刘方正, 张玉波, 杜金鸿, 王伟, 李俊生 (2017) 基于倾向评分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*, 25, 999–1007.]
- Chowdhury S, Jennions MD, Zalucki MP, Maron M, Watson JEM, Fuller RA (2022) Protected areas and the future of insect conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, doi: 10.1016/j.tree.2022.09.004.
- Clerici N, Armenteras D, Kareiva P, Botero R, Ramírez-Delgado JP, Forero-Medina G, Ochoa J, Pedraza C, Schneider L, Lora C, Gómez C, Linares M, Hirashiki C, Biggs D (2020) Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports*, 10, 4971.
- Coad L, Burgess ND, Loucks C, Fish L, Scharlemann JPW, Duarte L, Besançon B (2009) The ecological representativeness of the global protected areas estate in 2009: Progress towards the CBD 2010 target. UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, United Kingdom.
- Coppolillo P, Gomez H, Maisels F, Wallace R (2004) Selection criteria for suites of landscape species as a basis for site-based conservation. *Biological Conservation*, 115, 419–430.
- Cottee-Jones HEW, Matthews TJ, Bregman TP, Barua M, Tamuly J, Whittaker RJ (2015) Are protected areas required to maintain functional diversity in human-modified landscapes? *PLoS ONE*, 10, e0123952.
- D'Amen M, Bombi P, Pearman PB, Schmatz DR, Zimmermann NE, Bologna MA (2011) Will climate change reduce the efficacy of protected areas for amphibian conservation in Italy? *Biological Conservation*, 144, 989–997.
- den Braber B, Evans KL, Oldekop JA (2018) Impact of protected areas on poverty, extreme poverty, and inequality in Nepal. *Conservation Letters*, 11, e12576.
- di Minin E, Toivonen T (2015) Global protected area expansion: Creating more than paper parks. *BioScience*, 65, 637–638.
- Dinerstein E, Vynne C, Sala E, Joshi AR, Fernando S, Lovejoy TE, Mayorga J, Olson D, Asner GP, Baillie JEM, Burgess ND, Burkart K, Noss RF, Zhang YP, Baccini A, Birch T, Hahn N, Joppa LN, Wikramanayake E (2019) A global deal for nature: Guiding principles, milestones, and targets. *Science Advances*, 5, eaaw2869.
- Du JH, Liu FZ, Zhou Y, Zhang LB, Feng CT, Wang W (2019) A review of ecosystem services assessment and valuation of protected areas. *Research of Environmental Sciences*, 32, 1475–1482. (in Chinese with English abstract) [杜金鸿, 刘方正, 周越, 张立博, 冯春婷, 王伟 (2019) 自然保护区生态系统服务价值评估研究进展. *环境科学研究*, 32, 1475–1482.]
- Du JH, Zhang YB, Liu FZ, Chen B, Li JS, Wang W (2017) Construction of an indicator system and a case study of eco-environmental quality assessment of China's grassland nature reserves. *Pratacultural Science*, 34, 2378–2387. (in Chinese with English abstract) [杜金鸿, 张玉波, 刘方正, 陈冰, 李俊生, 王伟 (2017) 中国草地类自然保护区生态环境质量动态评价指标体系构建与案例. *草业科学*, 34, 2378–2387.]
- Dudley N (translated by Zhu CQ, Ouyang ZY) (2016) Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [朱春全, 欧阳志云 (译) (2016) IUCN自然保护区管理分类应用指南. 中国林业出版社, 北京.]
- Ewers RM, Rodrigues ASL (2008) Estimates of reserve effectiveness are confounded by leakage. *Trends in Ecology & Evolution*, 23, 113–116.
- Fan PF, Yang L, Liu Y, Lee TM (2020) Build up conservation research capacity in China for biodiversity governance. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 1162–1167.
- Fan X, Njeri HK, Pu Y, La Q, Li W, Li X, Chen Y (2021) Contrasting relationships between genetic diversity and species diversity in conserved and disturbed submerged macrophyte communities of Honghu Lake, a typical freshwater lake of Yangtze River Basin. *Global Ecology and Conservation*, 31, e01873.
- Feng CT, Cao M, Wang W, Wang H, Liu FZ, Zhang LB, Du JH, Zhou Y, Huang WJ, Li JS (2021) Which management measures lead to better performance of China's protected areas in reducing forest loss? *Science of the Total Environment*, 764, 142895.
- Feng CT, Cao M, Liu FZ, Zhou Y, Du JH, Zhang LB, Huang WJ, Luo JW, Li JS, Wang W (2022) Improving protected area effectiveness through consideration of different human-pressure baselines. *Conservation Biology*, 36, e13887.
- Feng YH, Wang YP, Su HJ, Pan JM, Sun YF, Zhu JL, Fang JY, Tang ZY (2021) Assessing the effectiveness of global protected areas based on the difference in differences model. *Ecological Indicators*, 130, 108078.
- Forrest JL, Mascia MB, Pailler S, Abidin SZ, Araujo MD, Krithivasan R, Riveros JC (2015) Tropical deforestation and carbon emissions from protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD). *Conservation Letters*, 8, 153–161.
- Gaveau DLA, Epting J, Lyne O, Linkie M, Kumara I,

- Kanninen M, Leader-Williams N (2009) Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography*, 36, 2165–2175.
- Geldmann J, Deguignet M, Balmford A, Burgess ND, Dudley N, Hockings M, Kingston N, Klimmek H, Lewis AH, Rahbek C, Stolton S, Vincent C, Wells S, Woodley S, Watson JEM (2021) Essential indicators for measuring site-based conservation effectiveness in the post-2020 global biodiversity framework. *Conservation Letters*, 14, e12792.
- Geldmann J, Manica A, Burgess ND, Coad L, Balmford A (2019) A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 116, 23209–23215.
- Guetté A, Godet L, Juigner M, Robin M (2018) Worldwide increase in Artificial Light At Night around protected areas and within biodiversity hotspots. *Biological Conservation*, 223, 97–103.
- Guo ZL, Cui GF, Zhang MY, Li XY (2019) Analysis of the contribution to conservation and effectiveness of the wetland reserve network in China based on wildlife diversity. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00684.
- Hou QX, Ci XQ, Liu ZF, Xu WM, Li J (2018) Assessment of the evolutionary history of Lauraceae in Xishuangbanna National Nature Reserve using DNA barcoding. *Biodiversity Science*, 26, 217–228. (in Chinese with English abstract) [侯勤曦, 慈秀芹, 刘志芳, 徐武美, 李捷 (2018) 基于DNA条形码评估西双版纳国家级自然保护区对樟科植物进化历史的保护. *生物多样性*, 26, 217–228.]
- Huang Z, Qian L, Cao W (2022) Developing a novel approach integrating ecosystem services and biodiversity for identifying priority ecological reserves. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106128.
- IUCN-WCPA Task Force on OECMs (2019) Recognising and Reporting Other Effective Area-based Conservation Measures. IUCN, Gland, Switzerland.
- Jiang ZG (2016) On the similarity and dissimilarity of “Endangered Species” and “Protected Species”. *Biodiversity Science*, 24, 1082–1083. (in Chinese) [蒋志刚 (2016) 论“濒危物种”与“保护物种”概念的异同. *生物多样性*, 24, 1082–1083.]
- Jin T, Bu JY, Ma JZ (2022) Other-effective area-based measures of global experiences and implications for post-2020 biodiversity conservation in China. *Journal of West China Forestry Science*, 51(1), 1–8. (in Chinese with English abstract) [靳彤, 卜金玉, 马建忠 (2022) 其他有效的区域保护措施的国际经验及对中国2020年后生物多样性保护的启示. *西部林业科学*, 51(1), 1–8.]
- Jin YC, Wang W, Xin LJ, Diao ZY, Li JS (2014) Changes of land-cover and landscape pattern in Huihe National Nature Reserve. *Pratacultural Science*, 31, 1859–1866. (in Chinese with English abstract) [靳勇超, 王伟, 辛利娟, 刁兆岩, 李俊生 (2014) 辉河国家级自然保护区土地覆盖与景观格局变化分析. *草业科学*, 31, 1859–1866.]
- Joppa LN, Pfaff A (2010) Global protected area impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, 1633–1638.
- Jung M, Arnell A, de Lamo X, García-Rangel S, Lewis M, Mark J, Merow C, Miles L, Ondo I, Pironon S, Ravilious C, Rivers M, Schepaschenko D, Tallowin O, van Soesbergen A, Govaerts R, Boyle BL, Enquist BJ, Feng X, Gallagher R, Maitner B, Meiri S, Mulligan M, Ofer G, Roll U, Hanson JO, Jetz W, Di Marco M, McGowan J, Rinnan DS, Sachs JD, Lesiv M, Adams VM, Andrew SC, Burger JR, Hannah L, Marquet PA, McCarthy JK, Morueta-Holme N, Newman EA, Park DS, Roehrdanz PR, Svenning JC, Violle C, Wieringa JJ, Wynne G, Fritz S, Strassburg BBN, Obersteiner M, Kapos V, Burgess N, Schmidt-Traub G, Visconti P (2021) Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 1499–1509.
- KBA Standards and Appeals Committee of IUCN SSC/WCPA (2022) Guidelines for using A Global Standard for the Identification of Key Biodiversity Areas (Version 1.2). IUCN, Gland, Switzerland.
- Klausmeyer KR, Shaw MR (2009) Climate change, habitat loss, protected areas and the climate adaptation potential of species in Mediterranean ecosystems worldwide. *PLoS ONE*, 4, e6392.
- Klein CJ, Brown CJ, Halpern BS, Segan DB, McGowan J, Beger M, Watson JEM (2015) Shortfalls in the global protected area network at representing marine biodiversity. *Scientific Reports*, 5, 17539.
- Kullberg P, di Minin E, Moilanen A (2019) Using key biodiversity areas to guide effective expansion of the global protected area network. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00768.
- Langhammer PF, Bakarr M, Bennun L, Brooks T, Clay R, Darwall W, De Silva N, Edgar G, Eken G, Fishpool L, Fonseca G, Foster M, Knox D, Matiku P, Radford E, Rodrigues ASL, Salaman P, Sechrest W, Tordoff A (2007a) Identification and Gap Analysis of Key Biodiversity Areas: Targets for Comprehensive Protected Area Systems. IUCN, Gland, Switzerland.
- Langhammer PF, Bakarr MI, Bennun LA, Brooks TM, Clay RP, Darwall W, De Silva N, Edgar GJ, Eken G, Fishpool LDC, Fonseca GABd, Foster MN, Knox DH, Matiku P, Radford EA, Rodrigues ASL, Salaman P, Sechrest W, Tordoff AW (2007b) Identification and Gap Analysis of Key Biodiversity Areas: Targets for Comprehensive Protected Area Systems. IUCN, Gland, Switzerland.
- Li BV, Pimm SL (2016) China’s endemic vertebrates sheltering under the protective umbrella of the giant panda. *Conservation Biology*, 30, 329–339.
- Li LH, Zhang HG, Shi AQ, Li DL (2013) Study on wetland landscape pattern change in the Ximen Island Marine



- Special Protected Area based on RS and GIS. Remote Sensing Technology and Application, 28, 129–136. (in Chinese with English abstract) [李利红, 张华国, 史爱琴, 厉冬玲 (2013) 基于RS/GIS的西门岛海洋特别保护区滩涂湿地景观格局变化分析. 遥感技术与应用, 28, 129–136.]
- Li S, McShea WJ, Wang D, Gu X, Zhang X, Zhang L, Shen XL (2020) Retreat of large carnivores across the giant panda distribution range. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 1327–1331.
- Linkie M, Smith RJ, Leader-Williams N (2004) Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1809–1818.
- Liu FZ, Du JH, Zhou Y, Huang ZP, Li YP, Wang W, Xiao W (2018) Monitoring technology and practice on protected area biodiversity by integrating unmanned aerial vehicle (UAV) and ground approaches. *Biodiversity Science*, 26, 905–917. (in Chinese with English abstract) [刘方正, 杜金鸿, 周越, 黄志旁, 李延鹏, 王伟, 肖文 (2018) 无人机和地面相结合的自然保护地生物多样性监测技术与实践. 生物多样性, 26, 905–917.]
- Liu FZ, Feng CT, Zhou Y, Zhang LB, Du JH, Huang WJ, Luo JW, Wang W (2022) Effectiveness of functional zones in national nature reserves for the protection of forest ecosystems in China. *Journal of Environmental Management*, 308, 114593.
- Liu J, Linderman M, Ouyang Z, An L, Yang J, Zhang H (2001) Ecological degradation in protected areas: The case of Wolong Nature Reserve for Giant Pandas. *Science*, 292, 98–101.
- Ma T, Hu Y, Wang M, Yu L, Wei F (2020) Unity of Nature and Man: A new vision and conceptual framework for the Post-2020 Global Biodiversity Framework. *National Science Review*, 8, nwaa265.
- Margules CR, Pressey RL (2000) Systematic conservation planning. *Nature*, 405, 243–253.
- Maxwell SL, Cazalis V, Dudley N, Hoffmann M, Rodrigues ASL, Stolton S, Visconti P, Woodley S, Kingston N, Lewis E, Maron M, Strassburg BBN, Wenger A, Jonas HD, Venter O, Watson JEM (2020) Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature*, 586, 217–227.
- McIntosh EJ, Pressey RL, Lloyd S, Smith RJ, Grenyer R (2017) The impact of systematic conservation planning. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 677–697.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GA, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Nagendra H (2008) Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. *Ambio*, 37, 330–337.
- Naidoo R, Gerkey D, Hole D, Pfaff A, Ellis AM, Golden CD, Herrera D, Johnson K, Mulligan M, Ricketts TH, Fisher B (2019) Evaluating the impacts of protected areas on human well-being across the developing world. *Science Advances*, 5, eaav3006.
- Noss RF, Dobson AP, Baldwin R, Beier P, Davis CR, Dellasala DA, Francis J, Locke H, Nowak K, Lopez R, Reining C, Trombulak SC, Tabor G (2012) Bolder thinking for conservation. *Conservation Biology*, 26, 1–4.
- Ochoa-Ochoa L, Urbina-Cardona JN, Vázquez LB, Flores-Villela O, Bezaury-Creel J (2009) The effects of governmental protected areas and social initiatives for land protection on the conservation of Mexican amphibians. *PLoS ONE*, 4, e6878.
- Oldfield TEE, Smith RJ, Harrop SR, Leader-Williams N (2004) A gap analysis of terrestrial protected areas in England and its implications for conservation policy. *Biological Conservation*, 120, 303–309.
- Orme CDL, Davies RG, Burgess M, Eigenbrod F, Pickup N, Olson VA, Webster AJ, Ding TS, Rasmussen PC, Ridgely RS, Stattersfield AJ, Bennett PM, Blackburn TM, Gaston KJ, Owens IPF (2005) Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, 436, 1016–1019.
- Osipova E, Emslie-Smith M, Osti M, Murai M, Åberg U, Shadie P (2020) IUCN World Heritage Outlook 3: A Conservation Assessment of All Natural World Heritage Sites. IUCN, Gland, Switzerland.
- Pack S, Ferreira M, Krithivasan R, Mullinax J, Bernard E, Mascia M (2016) Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) in the Amazon. *Biological Conservation*, 197, 32–39.
- Pelletier TA, Carstens BC, Tank DC, Sullivan J, Espíndola A (2018) Predicting plant conservation priorities on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 115, 13027–13032.
- Qin SY, Golden Kroner RE, Cook C, Tesfaw AT, Braybrook R, Rodriguez CM, Poelking C, Mascia MB (2019) Protected area downgrading, downsizing, and degazettement as a threat to iconic protected areas. *Conservation Biology*, 33, 1275–1285.
- Quan Q, Che X, Wu Y, Wu Y, Zhang Q, Zhang M, Zou F (2018) Effectiveness of protected areas for vertebrates based on taxonomic and phylogenetic diversity. *Conservation Biology*, 32, 355–365.
- Rahman MF, Islam K (2021) Effectiveness of protected areas in reducing deforestation and forest fragmentation in Bangladesh. *Journal of Environmental Management*, 280, 111711.
- Ren G, Young SS, Wang L, Wang W, Long Y, Wu R, Li J, Zhu J, Yu DW (2015) Effectiveness of China's National Forest Protection Program and nature reserves. *Conservation Biology*, 29, 1368–1377.
- Rodríguez-Rodríguez D, Martínez-Vega J, Echavarría P (2019) A twenty year GIS-based assessment of environmental sustainability of land use changes in and around protected

- areas of a fast developing country: Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 169–179.
- Sarathchandra C, Dossa GGO, Ranjitkar NB, Chen H, Zhai DL, Ranjitkar S, de Silva KHWL, Wickramasinghe S, Xu J, Harrison RD (2018) Effectiveness of protected areas in preventing rubber expansion and deforestation in Xishuangbanna, Southwest China. *Land Degradation and Development*, 29, 2417–2427.
- Saura S, Bastin L, Battistella L, Mandrici A, Dubois G (2017) Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators*, 76, 144–158.
- Saura S, Bertzy B, Bastin L, Battistella L, Mandrici A, Dubois G (2018) Protected area connectivity: Shortfalls in global targets and country-level priorities. *Biological Conservation*, 219, 53–67.
- Sayre R, Karagulle D, Frye C, Boucher T, Wolff NH, Breyer S, Wright D, Martin M, Butler K, van Graafeiland K, Touval J, Sotomayor L, McGowan J, Game ET, Possingham H (2020) An assessment of the representation of ecosystems in global protected areas using new maps of World Climate Regions and World Ecosystems. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00860.
- Scott JM, Davis F, Csuti B, Noss R, Butterfield B, Groves C, Anderson H, Caicco S, D'Erchia F, Edwards JTC, Ulliman J, Wright RG (1993) Gap analysis: A geographic approach to protection of biological diversity. *Journal of Wildlife Management*, 57, 1–41.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) *Global Biodiversity Outlook 4*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada.
- Sierra R, Campos F, Chamberlin J (2002) Assessing biodiversity conservation priorities: Ecosystem risk and representativeness in continental Ecuador. *Landscape and Urban Planning*, 59, 95–110.
- Song RL, Yao JX, Wu KY, Zhang XC, Lü Z, Zhu ZG, Yin LJ (2018) Evaluation of the effectiveness of marine protected areas: Methodologies and progress. *Biodiversity Science*, 26, 286–294. (in Chinese with English abstract) [宋瑞玲, 姚锦仙, 吴恺悦, 张晓川, 吕植, 朱争光, 殷丽洁 (2018) 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, 26, 286–294.]
- Soto-Navarro C, Ravilious C, Arnell A, de Lamo X, Harfoot M, Hill SLL, Wearn OR, Santoro M, Bouvet A, Mermoz S, Le Toan T, Xia J, Liu S, Yuan W, Spawn SA, Gibbs HK, Ferrier S, Harwood T, Alkemade R, Schipper AM, Schmidt-Traub G, Strassburg B, Miles L, Burgess ND, Kapos V (2020) Mapping co-benefits for carbon storage and biodiversity to inform conservation policy and action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological sciences*, 375, 20190128.
- Tang ZY, Fang JY, Sun JY, Gaston KJ (2011) Effectiveness of protected areas in maintaining plant production. *PLoS ONE*, 6, e19116.
- The Nature Conservancy (2007) *Conservation Action Planning Handbook*. The Nature Conservancy, Arlington, USA.
- UNEP-WCMC, IUCN (2021) *Protected Planet Report 2020*. UNEP-WCMC, Cambridge, United Kingdom & IUCN, Gland, Switzerland.
- Venter O, Fuller RA, Segan DB, Carwardine J, Brooks T, Butchart SH, Di Marco M, Iwamura T, Joseph L, O'Grady D, Possingham HP, Rondinini C, Smith RJ, Venter M, Watson JE (2014) Targeting global protected area expansion for imperiled biodiversity. *PLoS Biology*, 12, e1001891.
- Wang B, Yan H, Feng Z, Yang Y (2022) Changes in the ecological characteristics of key biodiversity areas in the BRI region. *Journal of Resources and Ecology*, 13, 328–337.
- Wang W, Li JS (2021) Development course of biodiversity conservation policy in China. *Environment and Sustainable Development*, 46(6), 26–33. (in Chinese with English abstract) [王伟, 李俊生 (2021) 中国生物多样性保护政策发展历程. 环境与可持续发展, 46(6), 26–33.]
- Wang W, Xin LJ, Du JH, Chen B, Liu FZ, Zhang LB, Li JS (2016) Evaluating conservation effectiveness of protected areas: Advances and new perspectives. *Biodiversity Science*, 24, 1177–1188. (in Chinese with English abstract) [王伟, 辛利娟, 杜金鸿, 陈冰, 刘方正, 张立博, 李俊生 (2016) 自然保护区保护成效评估: 进展与展望. 生物多样性, 24, 1177–1188.]
- Wei W, Swaisgood RR, Pilfold NW, Owen MA, Dai Q, Wei F, Han H, Yang Z, Yang X, Gu X, Zhang J, Yuan S, Hong M, Tang J, Zhou H, He K, Zhang Z (2020) Assessing the effectiveness of China's panda protection system. *Current Biology*, 30, 1280–1286.
- Williams DR, Rondinini C, Tilman D (2022) Global protected areas seem insufficient to safeguard half of the world's mammals from human-induced extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 119, e2200118119.
- Wilson EO (2016) *Half-Earth: Our Planet's Fight for Life*. W. W. Norton, New York.
- Wu R, Zhang S, Yu DW, Zhao P, Li X, Wang L, Yu Q, Ma J, Chen A, Long Y (2011) Effectiveness of China's nature reserves in representing ecological diversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 383–389.
- Xin LJ, Jin YC, Zhu YP, Luo JW, Wang L, Chen B, Wang W (2015) Development of effectiveness assessment indicators of desert nature reserve in China: A case study of the Anxi National Nature Reserve. *Journal of Desert Research*, 35, 1693–1699. (in Chinese with English abstract) [辛利娟, 靳勇超, 朱彦鹏, 罗建武, 王亮, 陈冰, 王伟 (2015) 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, 35, 1693–1699.]
- Xin LJ, Wang W, Jin YC, Diao ZY, Li JS (2014) Indices of ecological effects of grassland nature reserves in China. *Pratacultural Science*, 31, 75–82. (in Chinese with English abstract) [辛利娟, 王伟, 靳勇超, 刁兆岩, 李俊生 (2014)

- 全国草地类自然保护区的成效评估指标. 草业科学, 31, 75–82.]
- Xu H, Wu Y, Cao Y, Cao M, Tong W, Le Z, Lu X, Li J, Ma F, Liu L, Hu F, Chen M, Li Y (2018) Low overlaps between hotspots and complementary sets of vertebrate and plant species in China. *Biodiversity and Conservation*, 27, 2713–2727.
- Xu W, Fan X, Ma J, Pimm SL, Kong L, Zeng Y, Li X, Xiao Y, Zheng H, Liu J, Wu B, An L, Zhang L, Wang X, Ouyang Z (2019) Hidden loss of wetlands in China. *Current Biology*, 29, 3065–3071.
- Yang H, Viña A, Winkler JA, Chung MG, Huang Q, Dou Y, McShea WJ, Songer M, Zhang J, Liu J (2021) A global assessment of the impact of individual protected areas on preventing forest loss. *Science of the Total Environment*, 777, 145995.
- Yip JY, Corlett RT, Dudgeon D (2004) A fine-scale gap analysis of the existing protected area system in Hong Kong, China. *Biodiversity and Conservation*, 13, 943–957.
- Zafra-Calvo N, Pascual U, Brockington D, Coolsaet B, Cortes-Vazquez JA, Gross-Camp N, Palomo I, Burgess ND (2017) Towards an indicator system to assess equitable management in protected areas. *Biological Conservation*, 211, 134–141.
- Zhang L, Turvey ST, Chapman C, Fan P (2021) Effects of protected areas on survival of threatened gibbons in China. *Conservation Biology*, 35, 1288–1298.
- Zhang M, Fellowes JR, Jiang X, Wang W, Chan BPL, Ren G, Zhu J (2010) Degradation of tropical forest in Hainan, China, 1991–2008: Conservation implications for Hainan Gibbon (*Nomascus hainanus*). *Biological Conservation*, 143, 1397–1404.
- Zhao LN, Yang YC, Liu HY, Shan ZJ, Xie D, Qin HN (2016) Key biodiversity area: A new biodiversity conservation tool. In: *Advances in Biodiversity Conservation and Research in China XII: Proceedings of the Twelfth National Conference on Biodiversity Science and Conservation in China* (ed. Chinese National Committee), pp. 18–29. China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese with English abstract) [赵莉娜, 杨宇昌, 刘慧圆, 单章建, 谢丹, 覃海宁 (2016) 生物多样性关键区域(KBA)评估——保护生物多样性的新工具. 见: 中国生物多样性保护与研究进展XII: 第十二届全国生物多样性科学与保护研讨会论文集(国际生物多样性计划中国委员会编著), pp. 18–29. 气象出版社, 北京.]
- Zhao ZC, Wang P (2022) Significance and key issues of protected area connectivity in China. *Landscape Architecture*, 29(7), 12–17. (in Chinese with English abstract) [赵智聪, 王沛 (2022) 中国自然保护区连通性的重要意义与关键议题. 风景园林, 29(7), 12–17.]
- Zhu L, Hughes AC, Zhao XQ, Zhou LJ, Ma KP, Shen XL, Li S, Liu MZ, Xu WB, Watson JEM (2021) Regional scalable priorities for national biodiversity and carbon conservation planning in Asia. *Science Advances*, 7, eabe4261.

(责任编辑: 徐卫华 责任编辑: 黄祥忠)