

碳中和目标下中国国家公园建设与管理

王伟^{1,2}

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

摘要 当前, 中国正在全面推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设。综述了国家公园在保护生态系统的完整性与原真性、保护与恢复珍稀濒危物种及其栖息地、保障和提升生态系统服务的同时, 在减缓气候变化、推动中国实现碳中和目标等方面发挥的重要作用。在碳中和战略目标下, 国家公园作为碳库的建设、管理与利用显得尤为重要, 与国际相关研究相比, 中国国家公园在减缓与适应气候变化及实现碳中和目标的贡献等方面的研究还处于起步阶段。由于气候变化会对国家公园产生一系列潜在影响, 例如改变土地利用性质、影响生态系统完整性、影响物种及其栖息地、加剧极端气候等, 因此提出了碳中和目标下中国国家公园建设与管理建议:(1) 探索国家公园体系建设与气候变化协同治理的机制与路径;(2) 加强气候变化背景下以国家公园为主体的自然保护地体系建设与监测;(3) 加强碳减排工程措施对国家公园等自然保护地内及周边区域的监管;(4) 进一步探索“基于自然的解决方案”形成综合行动方案。

关键词 国家公园; 自然保护地; 生物多样性

气候变化对全球生态系统的结构、功能和过程产生了重要的影响, 已引起全球各国政府、社会公众以及科学界的广泛关注。联合国政府间气候变化专门委员会(The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第六次评估报告指出, 如果保持目前的升温速度, 到2030—2052年, 全球温度可能会上升超过工业化前1.5°C的水平^[1]。中国在2020年联合国气候大会上承诺, 已经明确了未来的环境保护和碳减排的目标, 旨在2030年前达到

二氧化碳排放的峰值, 并在2060年前实现碳中和。这一决策表明了中国在积极履行推动全球命运共同体构建的责任, 以及促进可持续发展的决心。

建设自然保护地是生物多样性保护最为有效的措施之一。同时, 自然保护地通过在植被和土壤中储存和封存碳, 对减缓和适应气候变化也具有重要意义^[2]。当前, 中国正在全面推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设。2021年正式设立了三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林、武夷山

收稿日期: 2024-08-03; 修回日期: 2024-09-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1301405)

作者简介: 王伟, 研究员, 研究方向为自然保护地生物多样性保护与可持续发展, 电子信箱: wang.wei@craes.org.cn

引用格式: 王伟. 碳中和目标下中国国家公园建设与管理[J]. 科技导报, 2024, 42(18): 37-45; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.08.01042

第一批5个国家公园。2022年,中国印发了《国家公园空间布局方案》,遴选出49个国家公园候选区(含正式设立的5个国家公园),总面积约110万 km^2 ,并提出到2035年基本建成全世界最大的国家公园体系的目标。国家公园在保护生态系统的完整性与原真性、保护与恢复珍稀濒危物种及其栖息地、保障和提升生态系统服务的同时,在减缓气候变化方面也发挥了重要的作用。在中国积极应对气候变化、“双碳”目标等国家战略下,国家公园的建设与管理如何实现与气候变化治理的协同增效,成为一个亟需关注的重点问题^[3-4]。

1 国家公园碳储量相关研究

生态系统通过吸收或释放大气中的温室气体,在调节全球碳循环和减缓气候变化方面发挥着至关重要的作用。国家公园等自然保护地作为维系生态系统稳定与安全、保护生态系统完整性与原真性的重要举措,不仅在全球和中国的生物多样性保护中扮演着重要角色,也在碳存贮方面代表了重要的碳库价值。

围绕国家公园碳储量的研究,一项对于全球自然保护地碳储量的研究表明,约占研究范围内森林生态系统总面积11%的自然保护地,保护了森林生态系统地上碳储量总量的26%^[5];特别是在巴西亚马逊地区,自然保护地保护了54%的森林和56%的森林碳储量^[6]。在国家公园方面,研究表明意大利国家公园内单位面积的森林碳储量显著高于国家公园以外的森林生态系统^[7];印度尼西亚格德山-潘格兰戈山国家公园(The Gunung Gede Pangrango National Park)山地雨林相较于低地雨林,拥有更高的个体密度、冠层密度以及复杂的冠层结构,因此碳储量也相对更高^[8]。国家公园在碳储量方面的研究结果,均表明了国家公园在碳库方面所发挥的重要意义。

中国过去关于自然保护地碳储量的研究主要围绕自然保护区、森林公园等开展,随着2016年启动国家公园体制试点建设,以及2021年第一批5个国家公园的设立,围绕国家公园碳储量的研究已成

为近年来的热点。例如,海南热带雨林国家公园的研究表明,2021年海南热带雨林国家公园森林生态系统的总碳储量为89.67 Tg,其中低地雨林和山地雨林的碳储量最高,占总碳储量的82.45%^[9]。2022年4月,习近平总书记在海南考察时指出:“热带雨林国家公园是国宝,是水库、粮库、钱库,更是碳库。”三江源国家公园的研究也表明,2020年国家公园范围内的碳储量为 $1026.88 \times 10^6 \text{ t}$,较1990年增加了 $41.85 \times 10^6 \text{ t}$ ^[10]。而武夷山国家公园在过去20年(2000—2020年)生态系统碳储量则呈现先减少后增加的趋势^[11]。可以看出,在碳中和战略目标下,国家公园作为碳库的建设、管理与利用显得尤为重要。

2 国家公园在减缓和适应气候变化方面的作用

2.1 国家公园减缓气候变化

在多个国家和地区,国家公园等自然保护地作为减缓和应对气候变化的关键区域,其保护与修复对提升生态系统碳汇、减少生物碳释放具有重要作用^[3]。国家公园在减缓气候变化方面的作用主要是通过研究国家公园的固碳量或净碳汇量,从而进一步判断国家公园在碳吸收方面的功能。

在全球研究方面,麻省理工学院(MIT)全球化科学和政策联合项目构建了综合全球系统模型,估算出全球自然保护地每年固碳约0.5 Pg,约占所有陆地生态系统每年固碳总量的1/5^[12]。其中,覆盖了世界热带雨林19.6%面积的自然保护地,通过改善自然保护地的管理以更好地保持森林覆盖,减少森林砍伐和森林退化,对于有效保持自然保护地的固碳功能具有重要价值^[13]。从国家公园的研究来看,以美国黄石国家公园为例,2000—2006年,国家公园年均固碳量为2.5 Tg,其中森林和灌丛生态系统约占88%的固碳量,已基本抵消了1988年森林大火所释放的二氧化碳量^[14]。2009年开始,美国国家公园管理局开始大力推进减缓和应对气候变化方面的工作,环境保护署、内政部等机构研发的温室气体计算与减排方法,为国家公园在减缓气

候变化方面提供了有效支持^[15]。

近年来,中国大力推动国土绿化、退耕还林还草、湿地保护修复等工作,森林、草地、湿地等陆地生态系统固碳服务能力得到显著提升^[16],中国国家公园等自然保护地的固碳服务也得到了明显增强。例如,研究表明,过去40年(1980—2020年)来,中国陆域自然保护地固碳量呈显著增加趋势,其中自然保护区的固碳量最大,其次为森林公园^[17]。围绕自然保护区,相关研究分别在雾灵山^[18]、内蒙古大青山^[19]等自然保护区,对森林生态系统的固碳功能进行了估算,结果表明,自然保护区森林生态系统固碳释氧的功能价值最大。自中国开始建立国家公园体制试点以来,围绕国家公园固碳服务方面的研究逐渐增多,以武夷山国家公园为例,2019年武夷山国家公园范围内的生态系统固碳总量大于国家公园内的总碳排放量,年均净碳汇量为88241.86 t,实现了“碳中和”^[20]。不过总体来说,目前中国对于国家公园等自然保护地在减缓气候变化、推动实现“碳中和”等方面的研究还处于起步阶段,亟需围绕碳循环作用机理、碳中和贡献评估与管理、生物多样性保护和碳中和的协同治理等关键问题加强研究^[21]。

2.2 国家公园适应气候变化

国家公园作为生物多样性和生态系统服务的重要载体,在适应气候变化方面扮演着关键角色。国家公园适应气候变化可通过国家公园等自然保护地的适应性管理,制定多情景响应预案,提升气候韧性^[3];同时,通过开展生态系统恢复、提升国家公园等自然保护地之间的连通性等行动,有助于提升生物多样性适应气候变化的能力^[22]。

国际上的案例表明,世界各国均高度重视国家公园在适应气候变化方面的作用,并在2004年举办的《生物多样性公约》(Convention on Biological Diversity, CBD)第7次缔约方大会上,首次共同决定将适应气候变化的措施纳入国家公园等自然保护地体系的规划和管理^[3]。一些国家如美国、新西兰等均制定并发布了国家公园适应气候变化的相关规划。例如,美国国家公园管理局在2021年发布了《应对气候变化的规划:国家公园管理中的气

候智能规划与管理》(Planning for a Changing Climate: Climate-Smart Planning and Management in the National Park Service),将情景计划概念融入气候智慧框架中,以推进国家公园管理局的适应性规划工作^[23]。新西兰的国家公园等自然保护地也将适应性管理作为应对气候变化的主要路径,以科研监测为基础,识别与评估气候变化风险并制定适应性的行动计划^[24]。世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)提出,为提升国家公园气候韧性,不仅需要确保单个国家公园内自然生态系统的完整健康以及齐全的生态系统功能,减少人为压力,同时还需要联通多个国家公园等自然保护地以形成保护网络^[25]。

近年来,中国也逐步意识到国家公园等自然保护地在适应气候变化方面的重要意义,并在《国家适应气候变化战略2035》中鼓励通过国家公园等自然保护地体系有效发挥生态系统服务,增强气候适应能力^[26]。相对来说,中国学者围绕国家公园适应气候变化方面的研究还比较少,主要是通过梳理国际经验提出中国的相关建议。例如赵智聪等^[3]通过梳理美国、英国、欧盟、新西兰等国际经验,提出了一系列国家公园气候适应的行动建议,包括制定气候适应性管理框架,识别并保护气候避难所、气候廊道,提升生态系统气候韧性等。还有学者提出建立中国国家公园情景规划体系以适应气候变化,包括利用未来情景信息建立弹性边界管控机制,以及在不同气候风险区实施差异化管控措施等^[27]。

3 气候变化对国家公园的潜在影响

气候变化会产生气温升高、干旱加剧、海平面上升、物种灭绝等影响,对国家公园的建设与管理带来一系列压力。例如,由于美国国家公园主要位于北极、高海拔地区或西南部的干旱地区,气候变化使得美国国家公园更容易受到威胁,1895—2010年,国家公园区域的年均温度增长速度是整个美国增长速度的2倍^[28]。综合来看,气候变化对国家公园产生的压力主要表现在改变土地利用性质、影响生态系统完整性和加剧极端气候3个方面(图1)。



图1 气候变化对国家公园的潜在影响

3.1 改变土地利用性质

气候变化加剧会使得气温升高和干旱加剧,进而转变国家公园等自然保护地内的土地利用方式,影响国家公园在碳存贮和吸收方面的能力。在全球层面的气候和土地使用情景预测结果表明,如果在快速的气候变化模式下(类似于IPCC第5次评估报告中的高端预测),将导致到2100年全球自然保护地每年的固碳能力降至约0.3 Pg(即减少了0.2 Pg)^[12]。另一项围绕世界遗产的研究发现,由于人类活动和气候变化的压力,带来了景观的破碎和退化,使得至少有10个重要的遗产地在过去20年(2001—2020年)中成为了净碳源,同时还有33%的世界自然遗产地将气候变化评估为高度或非常高的威胁,例如印度的凯奥拉德奥国家公园(Keoladeo National Park)、埃塞俄比亚的塞米恩国家公园(Simien National Park)、乌干达的鲁文佐里山国家公园(Rwenzori Mountains National Park)等多处国家公园^[29-30]。对中国东北虎豹国家公园的研究表明,气候变化因素中,降水量对生态环境的影响程度大于气温与日照时数的影响程度^[31]。对三江源国家公园的研究发现,近50年来三江源地区气温总体呈现变暖趋势,气候变化对草地景观和非草地景观面积的影响存在明显差异^[32]。

3.2 影响生态系统完整性

在很多情况下,气候变化和土地利用的累积和协同作用往往会对国家公园生态系统的完整性产生巨大影响,从而可能会进一步影响国家公园的生物多样性、野生动物栖息地和自然景观^[33]。美国的

研究表明,科罗拉多高原上梅萨维德国家公园(Mesa Verde National Park)由于近年来的干旱造成*Pinus edulis*-*Juniperus monosperma*林地几乎完全丧失,而拱门国家公园(Arches National Park)和布莱斯峡谷国家公园(Bryce Canyon National Parks)的灌木草原可能会被稀树草原和草地所取代^[34]。由于中国国家公园建设时间较短,早期的研究多围绕自然保护区等类型的自然保护地开展,以达里诺尔国家级自然保护区为例,预测结果表明与2010年相比,2020、2030年达里诺尔自然保护区水体、草地、林地、沼泽地4类生态系统所面临的气候变化风险均有所增强,其中沼泽地的气候变化风险尤为突出^[35]。近年来,随着国家公园生态系统完整性的研究受到的关注逐渐增多,相关学者也开始关注气候变化对国家公园生态系统结构的影响。例如,对祁连山国家公园的研究发现,2006—2021年,随着气温的升高,祁连山国家公园酒泉片区湖泊水面减少,冰川消融加快,而高寒草原与高寒草甸的面积则有所增加^[36];类似的研究也表明,气候变化是促进祁连山国家公园植被净初级生产力恢复的主要原因^[37]。在三江源国家公园,由于气候变化带来温度的持续升高和降水的增加,使得国家公园内草地地上生物量呈显著增加趋势^[38]。可以看出,气候变化对国家公园生态系统的影响往往是复杂的、非线性的,而植被的滞后效应会进一步增加生态系统对气候变化响应的不确定性^[39]。不过值得注意的是,即使表面看起来积极的变化也往往需在国家公园的保护管理工作中加强预警和监测。

3.3 影响物种及其栖息地

由于温度和降雨条件的变化,国家公园里的许多物种很难快速适应,气候变化对野生动植物物种分布、生物物候、种间关系的影响更加凸显,加剧了物种灭绝风险^[40]。在美国缅因州阿卡迪亚国家公园(Acadia National Park),与1950年相比,2021年红叶高峰期的时间几乎晚了2周,9月份的气温和降水量以及5月份的降水量与红叶高峰期的延迟呈正相关^[41]。在欧洲阿尔卑斯山,气候变暖已经对瑞士国家公园构成了直接威胁,一些植物物种每10年向上移动1~4 m,另一些局限于高海拔地区的

植物类群已经消失^[42]。南非开展了 19 个国家公园的气候变化脆弱性评估,发现马蓬古布韦国家公园(Mapungubwe National Park)对气候变化最为脆弱,到 2050 年,该国家公园将不再适合目前已知的 66% 的鸟类、43% 的哺乳动物、40% 的爬行动物、43% 的两栖动物和 24% 的植物的生存^[43]。对中国大熊猫国家公园的研究也表明,在未来气候 SSP1-2.6 和 SSP5-8.5 情景下,岷山片区的大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)适宜生境面积均有所减少^[44]。在卡拉麦里国家公园,模型预测结果表明,全球气候变暖将严重威胁蒙古野驴(*Equus hemionus*)种群的生存和繁衍,当前大量分布于卡拉麦里国家公园西南部的蒙古野驴高度适宜生境将变为不适宜生境^[45]。很多情况下,气候变化会导致国家公园内的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国家公园外的栖息地,使得国家公园的边界变得不再合适,原有的管理不再有效。

3.4 加剧极端气候

气候变化增加了极端天气事件的频率和强度,例如极端干旱、暴雨、火灾等,这些都可能对国家公园的生态系统、物种及其栖息地以及自然景观造成破坏。南非克鲁格国家公园(Kruger National Park)受到 2015—2016 年厄尔尼诺现象的影响,发生了极端干旱,进而造成一种大型食草动物物种出现了大量死亡的情况^[46];而在南非马卡莱勒国家公园(Marakele National Park),极端气候现象导致严重的土壤侵蚀、湿地退化和野火发生频率的增加,影响了国家公园的景观美学价值^[47]。极端气候还会影响国家公园的访客数量,这与国家公园所在的地理位置和提供的娱乐活动通常密切相关,美国加利福尼亚州不同国家公园的研究表明,在极端干旱年份,优胜美地(Yosemite)等一些山地国家公园的访客数量有所下降,但在本身比较湿润的红杉树(Redwood)国家公园,访客数量却有所增多;而在极端湿润年份,尖顶(Pinnacles)等国家公园由于洪水的影响使得访客数量有所减少,不过海峡群岛(Channel Islands)国家公园由于本身比较干旱,在湿润年份访客数量有所增多^[48]。关于极端气候对于中国国家公园等自然保护地影响的研究还比较

少,一项对于西南生物多样性热点地区的研究发现,1961—2019 年,横断山区的国家级自然保护区对极端气候变化更为敏感,尤其是极端温度的影响^[49];类似的研究也发现云南轿子山国家级自然保护区 1999—2016 年归一化植被指数与极端气温指数密切相关,并建议应加强自然保护地极端气候变化风险评价和监测预警等技术研究^[50]。

4 碳中和目标下中国国家公园建设与管理建议

作为气候行动的积极推动者和坚定践行者,中国始终高度重视应对气候变化工作,2021 年 9 月和 10 月,《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》以及《2030 年前碳达峰行动方案》相继发布,标志着中国碳达峰碳中和“1+N”政策体系正在加快形成。2021 年 10 月 27 日,国务院新闻办发表《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,这也是中国继 2011 年以来第 2 次从国家层面对外发布的关于中国应对气候变化白皮书。2021 年 11 月,《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》印发,进一步明确了“以实现减污降碳协同增效为总抓手”“以高水平保护推动高质量发展、创造高品质生活,努力建设人与自然和谐共生的美丽中国”^[51]。2022 年,生态环境部等 17 部门研究制定了《国家适应气候变化战略 2035》,将国家公园建设作为提升自然生态系统适应气候变化能力的一项重要举措^[26]。中国国家公园既是气候变化的脆弱区和敏感区,又是重要的碳库,因此,在减缓气候变化和实现“双碳”目标的背景下,国家公园对于维护中国生态安全,减少全球碳排放具有重要作用^[15]。这也是《生物多样性公约》和联合国气候变化框架公约协同增效与合作的重要结合点。

4.1 探索国家公园体系建设与气候变化协同治理的机制与路径

在气候变化的背景下,中国国家公园体系建设与气候变化协同治理的机制尚未建立。尽管中国已经发布了多项关于国家公园建设以及应对气候

变化等方面的政策,但很多政策都是在近几年刚刚发布,各项政策之间的协同效应尚未体现;同时,由于各个政策的制定和实施涉及多个部门,各个部门之间的协调机制尚未完全建立,如何在国家公园建设与管理与气候变化各项工作之间形成有效衔接,还缺少相关具体落地实施的方案和案例。由于中国已设立的首批国家公园以及遴选的国家公园候选区往往都是“碳汇”的重要区域,因此有必要加强国家公园建设与应对气候变化的制度统筹。建议在国家公园设施规划建设中,考虑对未来气候条件的适应、减少建筑建设与运营耗能,构建更低碳的交通体系;同时,把推动国家公园所在地区的碳中和目标作为重要内容,建立相对稳定的气候变化适应机制与政策,协同落实应对气候变化风险的资金,提升国家公园生态保护与应对气候变化的协同治理能力。

4.2 加强气候变化背景下以国家公园为主体的自然保护地体系建设与监测

目前,中国国家公园等各类自然保护地通常未开展气候变化影响的观测与评估工作,在气候变化生态响应监测、风险评估与安全预警、风险管控技术体系等方面普遍存在不足。因此,建议国家公园在发展规划和管理目标的设计初期,就要充分考虑气候变化风险的管控要求,并在建设与管理中纳入适应气候变化的能力建设内容。在国家公园的范围识别与规划工作中,优先保护具有高生物多样性价值的气候避难所,保护重要的生态系统碳库,加强对气候变化及其影响的监测,预先设计极端气候监测预警与应急预案,根据气候变化程度,动态调整管理措施;在国家公园解说教育中,可增加气候变化相关内容;在访客服务中,提倡低碳的游览方式等^[15]。在此基础上,建立以国家公园等自然保护地为基础、其他有效的区域保护措施(other effective area-based conservation measures, OECMs)为补充的生物多样性就地保护网络,保障国家公园等自然保护地之间的连通性与完整性,从而有利于物种基因流动并向适宜的栖息地迁移,促进隔离种群遗传交流,增加适应气候变化风险的综合能力。

4.3 加强碳减排工程措施对国家公园等自然保护地内及周边区域的监管

近年来,根据《2030年前碳达峰行动方案》,中国不断加大对可再生能源的开发利用,并提出到2030年,风电、太阳能发电总装机容量达到12亿kW以上。为顺利实现碳达峰碳中和的战略目标,未来中国可再生能源势必会快速发展。但近年来也有关于一些可再生能源工程措施对国家公园产生影响的相关案例,例如,中央生态环境保护督察通报的海南热带雨林国家公园内小水电站清退不到位、生态下泄流量不足等问题^[52]。因此,为科学协调碳达峰及碳中和行动与生态系统、物种及其栖息地的保护工作,应系统开展国家公园在推动落实碳中和效益的评估,并科学规划布局未来各项碳减排工程措施,加强国家公园体系和可再生能源空间布局的权衡研究,提升二者空间布局的协同性。同时,对于国家公园等自然保护地内已有的碳减排工程措施,应强化对生物多样性潜在影响的风险评估、安全预警以及监测监管等工作。

4.4 进一步探索“基于自然的解决方案”形成综合行动方案

2019年,在联合国秘书长的倡议下,“基于自然的解决方案”(nature-based solutions, NbS)被列为联合国应对气候变化的九大领域之一,并由中国和新西兰共同牵头推进。国家公园是监测、研究、减缓和应对气候变化影响的理想实验室,是探索NbS的最佳试点^[53]。这需要基于长期科学研究的支持,模拟未来可能发生的气候变化情景,构建气候变化下国家公园等自然保护地脆弱性评估以及应对极端气候的科学方法,并制定适应性战略如可持续森林管理、基于自然的生态修复方案、气候智慧型保护策略等。从而,在NbS的实践中不断总结经验,形成适用于兼顾国家公园建设与管理、落实中国碳达峰与碳中和战略以及实现联合国2030年可持续发展目标的综合行动方案。

参考文献(References)

- [1] IPCC. Global Warming of 1.5 °C [EB/OL]. [2024-09-01].

- <https://www.ipcc.ch/sr15>.
- [2] Cook-Patton S C, Drever C R, Griscom B W, et al. Protect, manage and then restore lands for climate mitigation [J]. *Nature Climate Change*, 2021, 11(12): 1027–1034.
- [3] 赵智聪, 王小珊, 杨锐. 基于国际经验的中国国家公园气候变化应对路径[J]. *中国园林*, 2022, 38(4): 6–13.
- [4] Wang S H, Song S, Shi M X, et al. China's National Park construction contributes to carbon peaking and neutrality goals[J]. *Land*, 2023, 12(7): 1402.
- [5] Duncanson L, Liang M, Leitold V, et al. The effectiveness of global protected areas for climate change mitigation[J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 2908.
- [6] Soares-Filho B, Moutinho P, Nepstad D, et al. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation[J]. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2010, 107(24): 10821–10826.
- [7] Marchetti M, Sallustio L, Ottaviano M, et al. Carbon sequestration by forests in the National Parks of Italy[J]. *Plant Biosystems: An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 2012, 146(4): 1001–1011.
- [8] Sunyata A, Rakhmi Z I, Triwahyuningsih N, et al. Composition, structure, and carbon sequestration of different rainforest ecosystems in the gunung gede pangrango National Park, Indonesia[J]. *Biotropia*, 2024, 31(2): 202–216.
- [9] 刘强, 周璋, 陈德祥, 等. 海南热带雨林国家公园森林生态系统碳储量及变化特征[J]. *自然保护地*, 2023, 3(4): 1–10.
- [10] 贾天朝, 胡西武. 基于PLUS-InVEST-Geodector模型的三江源国家公园碳储量时空变化及驱动力[J]. *环境科学*, 2023, doi: 10.13227/j.hjcx.202310046.
- [11] 陈馨, 罗镁玲, 林仕宇, 等. 山岳型国家公园生态系统碳储量时空分布分析: 以武夷山国家公园为例[J]. *台湾农业探索*, 2023(1): 72–78.
- [12] Melillo J M, Lu X L, Kicklighter D W, et al. Protected areas' role in climate-change mitigation[J]. *Ambio*, 2016, 45(2): 133–145.
- [13] Scharlemann J P W, Kapos V, Campbell A, et al. Securing tropical forest carbon: The contribution of protected areas to REDD[J]. *Oryx*, 2010, 44(3): 352–357.
- [14] Potter C, Klooster S, Crabtree R, et al. Carbon fluxes in ecosystems of Yellowstone National Park predicted from remote sensing data and simulation modeling[J]. *Carbon Balance and Management*, 2011, 6: 3.
- [15] 王小珊, 乔纳森·贾维斯, 赵智聪, 等. 美国国家公园气候变化应对关键机制及启示[J]. *国家公园(中英文)*, 2023(1): 34–43.
- [16] 董战峰, 毕粉粉, 冀云卿. 中国陆地生态系统碳汇发展的现状、问题及建议[J]. *科技导报*, 2022, 40(19): 15–24.
- [17] Tian J, Feng C T, Fu G, et al. Contribution of different types of terrestrial protected areas to carbon sequestration services in China: 1980–2020[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, 11: 1074410.
- [18] 张志旭, 牛树奎, 郭泉水, 等. 雾灵山森林生态系统固碳释氧服务功能价值评估[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(18): 175–179.
- [19] 王冬至, 张秋良, 高娃, 等. 大青山生态林固碳释氧效益计量[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(2): 56–59.
- [20] 曹辉, 吴慧珍, 沈珊珊, 等. “国家的碳源”抑或“国家的碳汇”: 基于武夷山国家公园碳均衡分析[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(4): 934–950.
- [21] 王方邑, 赵智聪, 王沛, 等. 中国自然保护地碳中和贡献的初步评估及三个关键研究课题[J]. *中国园林*, 2023, 39(3): 6–13.
- [22] Gillingham P K, Britton J R, Jones G, et al. Climate change adaptation for biodiversity in protected areas: An overview of actions[J]. *Biological Conservation*, 2024, 289: 110375.
- [23] National Park Service. Planning for a changing climate: Climate-smart planning and management in the national park service[R]. Fort Collins: National Park Service, 2021.
- [24] 李可心, 王小珊, 岳超, 等. 新西兰自然保护地气候变化适应路径及其启示[J]. *中国园林*, 2023, 39(3): 20–26.
- [25] Gross J E, Woodley S J, Welling L A, et al. Adapting to climate change: Guidance for protected area managers and planners[R]. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature, 2017.
- [26] 生态环境部, 国家发展和改革委员会, 科学技术部, 等. 《国家适应气候变化战略2035》[EB/OL]. (2022-05-10) [2024-09-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/14/content_5695555.htm.
- [27] 贺利平, 钟乐, 邱文, 等. 基于情景规划的国家公园气候变化应对: 美国经验及对中国的启示[J]. *中国园林*, 2022, 38(4): 38–43.
- [28] Gonzalez P, Wang F Y, Notaro M, et al. Disproportionate magnitude of climate change in United States National Parks[J]. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(10): 104001.

- [29] Osipova E, Shadie P, Zwahlen C, et al. IUCN world heritage outlook 2: A conservation assessment of all natural World Heritage sites[M]. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature, 2017.
- [30] 周绮文, 庄优波. 第44届世界遗产大会自然遗产与气候变化相关议题综述[J]. 自然与文化遗产研究, 2022, 7(3): 21-30.
- [31] 马云飞, 陈长胜, 袁福香, 等. 东北虎豹国家公园生态环境质量动态评价及其气候响应[J]. 生态学报, 2023, 43(7): 2614-2626.
- [32] 吴晓全. 气候变化对三江源地区生态景观格局的影响及其模拟[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [33] Hansen A J, Piekielek N, Davis C, et al. Exposure of U. S. National Parks to land use and climate change 1900-2100[J]. *Ecological Applications*, 2014, 24(3): 484-502.
- [34] Saunders S, Easley T, Logan J, et al. Losing ground: Western national parks endangered by climate disruption[J]. *The George Wright Forum*, 2007, 24(1): 41-81.
- [35] 赵卫, 沈渭寿, 刘海月. 自然保护区气候变化风险及其评估: 以达里诺尔国家级自然保护区为例[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(12): 3831-3837.
- [36] 董众祥, 色拥军, 张帆, 等. 祁连山国家公园酒泉片区多年气候变化对生态结构的影响研究[J]. *中国资源综合利用*, 2024, 42(5): 78-81.
- [37] 杨安乐, 张小平, 李宗省, 等. 气候变化和人类活动对祁连山国家公园植被净初级生产力的定量影响[J]. *生态学报*, 2023, 43(5): 1784-1792.
- [38] He H, Yu H, Rong Z W, et al. Estimation of grassland aboveground biomass and its response to climate changes based on remote sensing inversion in Three-River-Source National Park, Tibet Plateau, China[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, 11: 1326980.
- [39] Gao X, Wen R Y, Lo K, et al. Heterogeneity and non-linearity of ecosystem responses to climate change in the Qilian Mountains National Park, China[J]. *Journal of Arid Land*, 2023, 15(5): 508-522.
- [40] 赵卫, 王昊, 肖颖, 等. 气候变化对野生生物类自然保护区的影响及其风险[J]. *生态学报*, 2023, 43(13): 5270-5280.
- [41] Spera S A, Spangler K R, Hubert M O, et al. The effects of climate change on the timing of peak fall foliage in Acadia National Park[J]. *Landscape Ecology*, 2023, 38(9): 2339-2355.
- [42] WWF. No place to hide: Effects of climate change on protected areas [EB/OL]. (2003-09) [2024-09-01]. <https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/wwfparksbro.pdf>.
- [43] Coldrey K M, Turpie J K, Midgley G, et al. Assessing protected area vulnerability to climate change in a case study of South African National Parks[J]. *Conservation Biology*, 2022, 36(5): e13941.
- [44] 罗言云, 胡泽南, 王倩娜, 等. 气候变化背景下大熊猫生境适宜性的时空演变——以大熊猫国家公园岷山片区为例[J]. *生态学报*, 2024, doi: 10.20103/j.stxb.202312302875.
- [45] 高帅帅, 胡杨, 邵长亮, 等. 气候变化背景下卡拉麦里国家公园蒙古野驴适宜生境脆弱性评价[J]. *兽类学报*, 2024, 44(3): 287-296.
- [46] Malherbe J, Smit I P, Wessels K J, et al. Recent droughts in the Kruger National Park as reflected in the extreme climate index[J]. *African Journal of Range & Forage Science*, 2020, 37(1): 1-17.
- [47] Dube K, Chikodzi D, Nhamo G, et al. Climate and conservation challenges facing Marakele National Park and their implications for tourism[J]. *Cogent Social Sciences*, 2023, 9(2): 2282705.
- [48] Jenkins J S, Abatzoglou J T, Wilkins E J, et al. Visitation to National Parks in California shows annual and seasonal change during extreme drought and wet years[J]. *PLoS Climate*, 2023, 2(8): e0000260.
- [49] Wang P, Cheng Q P, Jin H Y. Divergent vegetation variation and the response to extreme climate events in the National Nature Reserves in Southwest China, 1961-2019[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 150: 110247.
- [50] 任钊潼, 程清平, 金韩宇, 等. 轿子山国家级自然保护区气候变化特征及对NDVI的影响[J]. *水土保持学报*, 2022, 36(4): 168-177.
- [51] 中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见[EB/OL]. (2021-11-07) [2024-09-01]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-11/07/content_5649656.htm.
- [52] 生态环境部. 海南热带雨林国家公园内生态环境问题突出[EB/OL]. (2023-12-08) [2024-09-01]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/zystjhbhdc/dcj/202312/t20231208_1058516.shtml.
- [53] 王伟, 吴晨, 李俊生. 基于自然的解决方案对我国国家公园建设与管理及相关研究的启示[J]. *生态学报*, 2024, doi: 10.20103/j.stxb.202402210367.

Establishment and management of national parks under carbon neutrality goal in China

WANG Wei^{1,2}

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

Abstract Currently, China is vigorously promoting the establishment of the system of protected areas with national parks as the main body. In addition to safeguarding the integrity and authenticity of the ecosystem, protecting and restoring rare and endangered species and their habitats, and maintaining and enhancing ecosystem services, national parks also play a crucial role in mitigating climate change and facilitating China's "carbon neutrality" goals. With the strategic objective of achieving carbon neutrality, it is crucial to prioritize the construction, management, and utilization of national parks as carbon reservoirs. However, comparing with relevant international studies, research on national parks' contribution to climate change mitigation and adaptation and their role in attaining carbon neutrality is still at an early stage in China. Climate change poses various potential impacts on national parks, including altering land use patterns, compromising ecosystem integrity, affecting species and their habitats, and intensifying climate extremes. Therefore, in this paper, measures and recommendations for the establishment and management of national parks in China within the framework of carbon neutrality goals are proposed: (1) exploring collaborative mechanisms and pathways for managing both the development of national park system and climate change; (2) enhancing the construction and monitoring of protected areas with national parks as the main body amidst changing climatic conditions; (3) strengthening supervision over carbon emission reduction initiatives within protected areas such as national parks; (4) further investigating "nature-based solutions" to formulate comprehensive action plans.

Keywords national park; protected areas; biodiversity ●



(责任编辑 徐丽娇)