unesco

WORLD RESOURCES INSTITUTE

IUCN

世界遗产地森林

压力重重的碳汇

联合国教育、科学及文化组织（7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France）、世界资源研究所（10 G Street NE, Suite 800, 20002, Washington DC, United States of America）、世界自然保护联盟（Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Switzerland）2023年出版

© 教科文组织、世界资源研究所、世界自然保护联盟，2023年

ISBN: 978-92-3-500045-0
https://doi.org/10.58337/VWIU5154

本出版物为开放获取出版物，授权协议为Attribution-ShareAlike3.0 IGO（CC-BYSA3.0 IGO）(http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/）。用户使用本出版物内容，即表明同意接受教科文组织开放获取资源库使用条件的约束（www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-chi）。

原始标题：*World Heritage forests: carbon sinks under pressure.*
联合国教育、科学及文化组织 (教科文组织)、世界资源研究所、世界自然保护联盟2021年出版。

本出版物所用名称及其材料的编制方式并不意味着教科文组织、世界资源研究所和世界自然保护联盟对于任何国家、领土、城市、地区或其当局的法律地位，或对于其边界或界线的划分，表示任何意见。
本出版物表达的是作者的看法和意见，而不一定是教科文组织、世界资源研究所和世界自然保护联盟的看法和意见，因此上述组织对此不承担责任。

建议引用格式：教科文组织、世界资源研究所和世界自然保护联盟，2023年：《世界遗产地森林：压力重重的碳汇》，巴黎，教科文组织、华盛顿特区，世界资源研究所、瑞士，世界自然保护联盟。

标有星号（*）的图像和图表不属于CC-BY-SA授权协议的范围之内，未经版权持有者事先许可，不得使用或复制。

作者：Tales Carvalho Resende（教科文组织）、David Gibbs（世界资源研究所）、Nancy Harris（世界资源研究所）、Elena Osipova（世界自然保护联盟）

翻译：教科文组织

原始版本同行评审员：Andreas Brink, Robbert Casier, Olivia Crowe, Guy Debonnet, Fanny Douvere, Tom Evans, Jason Funk, Oscar Guevara, Serena Heckler, Susanna Kari, Cyril Kormos, Jim Perry, Peter Shadie, Michelle Sims, Martha-Marie Vogel.

致谢：Gina Doubleday, Dorine Dubois, Rosie Ettenheim, Andrea Lupi, Nolwazi Mjwara, Ernesto Ottone Ramirez, Mechtild Rössler, Gregory Taff.

图案设计：Scienseed SL.

世界遗产地森林

压力重重的碳汇

内容提要

量化世界遗产地森林的环境效益

森林是地球上生物最多样的栖息地之一，能够吸收大气中的二氧化碳（CO_2），对调节气候起着至关重要的作用。教科文组织世界遗产地的森林面积达6900万公顷（约为德国国土面积的两倍），这些森林共同构成强大的净碳汇，每年从大气中吸收约1.9亿吨二氧化碳，相当于英国年度化石燃料所致二氧化碳排放量的大约一半。

然而，有10处世界遗产地森林尽管得到世界公认并享有国家级保护地位，但在2001–2020年期间仍成为净碳源，这主要是由于土地使用等人为压力和气候变化所致。资源使用以及野火等更加强烈和日益频繁的干扰事件，可能在今后几年进一步削弱世界遗产地森林的碳汇作用。

确保对世界遗产地森林及其周边景观给予强有力和持久的保护至关重要，唯有如此才能充分发挥其价值，作为减缓和适应气候变化并保护生物多样性的解决方案。

每年从大气中（净）
吸收二氧化碳约
1.9亿吨

unesco

“战争起源于人之思想，故务需于人之思想中筑起保卫和平之屏障。”

目录

要点 2

执行摘要 3

1 世界遗产地及其对气候调节的作用 5

1.1 世界遗产地：保护地球最典型的自然景观 5

1.2 全球碳循环中的森林 6

1.3 世界遗产地森林构成强大的碳汇 8

1.4 世界遗产地森林是碳的大储库 12

2 碳汇和碳储库面临威胁 15

2.1 气候变化助燃前所未有的野火，造成排放量激增 18

2.2 人类活动增加土地使用压力，削弱森林碳汇作用 20

3 保护世界遗产地碳汇的行动路径 23

3.1 快速有效的回应有助于防范与气候有关事件造成的破坏 23

3.2 尽量增强森林完好性和连通性的支持机制 25

3.3 将世界遗产地纳入气候、生物多样性和可持续发展议程结论 25

结论 26

参考文献 27

教科文组织关于世界遗产和气候行动的政策、战略和指导原则 31

要点

- 教科文组织的257处自然和混合（自然和文化）类世界遗产地森林面积达6900万公顷（约为德国国土面积的两倍），但由于缺乏可用数据，这些森林的气候效益从未得到量化。
- 本报告将近期发布的2001–2020年全球森林碳通量地图与遗产地监测相结合，估算森林对气候的影响以及教科文组织世界遗产地森林面临的种种威胁所带来的气候后果。
- 2001–2020年，世界遗产地森林共同构成强大的碳汇，每年从大气中吸收约1.9亿吨二氧化碳（CO_2），相当于英国年度化石燃料所致二氧化碳排放量的大约一半。
- 世界遗产地森林的长期碳固存已使总碳储量达到约130亿吨，超过了科威特已探明石油储量的碳含量。
- 有10处遗产地尽管得到世界公认并享有国家级保护地位，但在2001–2020年期间，由于各种压力源和干扰事件，仍成为净碳源。未来几年，土地使用压力等人为压力源和气候变化可能使越来越多的世界遗产地排放量增长。这些干扰可能削弱森林从大气中吸收碳的能力。
- 对世界遗产地森林及其周边景观给予强有力和持久的保护，可助力有效解决减缓和适应气候变化并保护生物多样性的问题。

执行摘要

森林在全球碳循环中起着重要作用，但是各地区具体遗产地的气候影响评估工作却往往因缺乏数据而受阻。在列入教科文组织《世界遗产名录》的一千多处遗产地中，约四分之一是因其自然价值而入选，其中许多包含大片森林[1]。世界遗产地森林面积达6900万公顷[2]（约为德国国土面积的两倍），提供了诸多产品和服务，造福自然和民众。尽管我们对这些林地所带来的气候效益有基本认识，但迄今为止却还没有对它们作为大气二氧化碳的来源或碳汇的程度进行量化。

将全球地图与遗产地监测相结合，可以为我们讲述碳的故事。本报告利用近期发布的2001－2020年全球森林碳通量地图（图ES-1）[3]，首次评估了截至2021年列入教科文组织《世界遗产名录》的257处自然和混合（自然和文化）类世界遗产地的森林温室气体（GHG）排放、固存（二氧化碳清除）和碳（C）储存。这项分析显示，几处遗产地出现了排放量激增和/或排放量超过清除量的情况，对此进行了深入调查。根据《世界遗产公约》监测程序[4]所汇总的实地信息和《IUCN世界遗产展望2020》[5]，对这些及其他遗产地进行了交叉比对，这有助于找出过去20年来最有可能对景观的本地碳预算产生影响的具体压力因素。

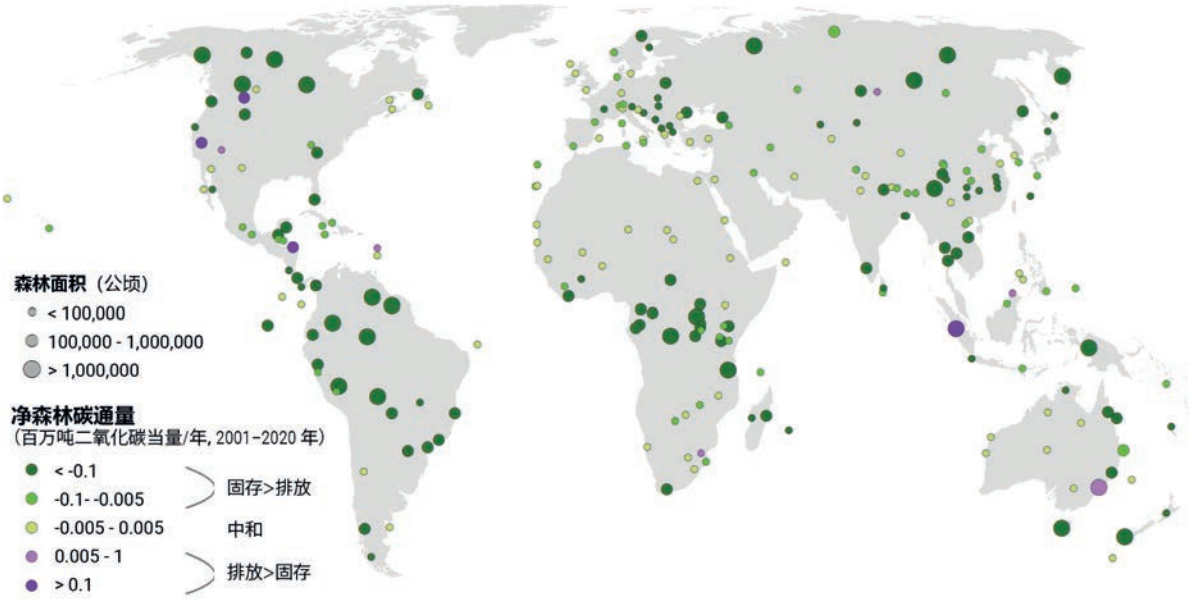
自2000年以来，教科文组织的自然和混合类世界遗产地森林平均每年从大气中吸收约1.9亿吨二氧化碳。森林的这一二氧化碳净清除量相当于英国2019年化石燃料所致二氧化碳排放量的大约一半[6]。世界遗产地森林千百年来的碳固存已使总碳储量达到约130亿吨，超过了科威特已探明石油储量的碳含量[7]。净碳汇和净碳储库最大的遗产地一般位于热带和温带地区。

世界遗产地森林唯有免受威胁，才能产生至关重要的气候效益。有10处世界遗产地的森林尽管得到世界公认并享有受保护地位，但在2001－2020年期间仍成为净碳源。未来，如果森林保护继续受到威胁，就无法确保这些遗产地的森林能够持续清除大气中的二氧化碳。一些遗产地由于土地使用的压力导致森林丧失，排放量增加，如印度尼西亚的苏门答腊热带雨林遗产和洪都拉斯的雷奥普拉塔诺生物圈保留地。另一些遗产地则经历了自然和人为造成的气候干扰，如猛烈的野火。有的野火在一年内释放的温室气体就超过3000万吨二氧化碳当量，比世界上逾半数国家由于化石燃料导致的国家年排放量还多[8]。土地使用的直接压力和气候变化都危及遗产地的碳储库和持续碳固存。

世界遗产地森林及其周边景观需要得到强有力和持久的保护，使其能为子孙后代持续发挥碳汇和稳定的碳储库的作用。可以通过三种路径实现这一目标，即：快速有效地应对野火等与气候有关的事件；通过改善景观管理，维持和加强生态连通性；将对世界遗产地的持续保护纳入国际、国家和地方的气候、生物多样性和可持续发展议程。成功落实上述路径需要使用基于可靠数据的现有最佳知识和跨学科决策，也需要动员公众和政界支持可持续的融资和投资。

[1] 教科文组织《世界遗产名录》可在以下网址查阅：https://whc.unesco.org/zh/list/。
[2] Hansen等人的分析，2013年。
[3] Harris et al., 2021。
[4] 《实施<世界遗产公约>操作指南》第169段：https://whc.unesco.org/en/guidelines/。
[5] Osipova et al., 2020。
[6] 全球碳计划，2021年。
[7] 美国能源信息署，2021年。
[8] 利用根据气候观察（www.climatewatchdata.org）发布的气候分析指标工具（CAIT）数据得出的2018年排放量。

图ES 1: 教科文组织自然和混合类世界遗产地的净森林碳通量。数值为2001–2020年期间的年平均值



资料来源：Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地数据的分析（方框1）。
注：二氧化碳当量（CO_2e）是以100年来全球变暖潜能值为基础、用来整合各种温室气体排放量的一种度量单位，具体做法是将非二氧化碳温室气体折算为二氧化碳当量。

森林面积

6900万公顷

（约为德国国土面积的两倍）

每年从大气中（净）吸收二氧化碳约

1.9亿吨

（相当于英国年度化石燃料二氧化碳排放量的大约一半）

树木和土壤中的碳储量

130亿吨

（超过了科威特已探明石油储量的碳含量）

在2001–2020年期间，

有10处遗产地

由于气候变化等自然和人为干扰，成为净碳源

Central Highlands of Sri Lanka (Sri Lanka) © UNESCO

1

世界遗产地及其对气候调节的作用

1.1 世界遗产地：保护地球最典型的自然景观

1972年通过的《保护世界文化和自然遗产公约》（《世界遗产公约》）将194个国家[9]凝聚在一个共同目标之下，即保护和珍爱世界上最杰出的自然和文化遗产。根据这一独特的国际公约，目前已有一千多处自然、文化和混合（自然和文化）遗产地因其突出的普遍价值——即“罕见的、超越了国家界限的、对全人类的现在和未来均具有普遍的重要意义的文化和/或自然价值”[10]——而获得承认，并被列入教科文组织《世界遗产名录》[11]。这些世界遗产地中约有四分之一是因其自然价值而被列入该名录。它们分布在110多个国家，总面积约为3.5亿公顷，几乎相当于印度的表面积（表1）。这些遗产地共占地球陆地面积的近1%和世界海洋面积的0.6%。

表1: 教科文组织自然和混合类世界遗产地的数量、面积和森林面积

地区	遗产地数量	遗产地面积（百万公顷）	2000年森林面积（百万公顷）
非洲	44	40	13
阿拉伯国家	8	10	0
亚洲及太平洋	79	114	16
欧洲、加拿大和美国	80	142	22
拉丁美洲和加勒比	46	43	19
总计	**257**	**349**	**69**

资料来源：教科文组织《世界遗产名录》。

注：截至2021年10月的遗产地数量。教科文组织将会员国分为五个地区组，即：非洲组、阿拉伯国家组、亚洲及太平洋地区组、欧洲和北美组、拉丁美洲和加勒比地区组。根据2013年Hansen等人的研究，将每个遗产地范围内树冠密度大于30%的区域视为森林区域。223个遗产地拥有森林区域。

教科文组织的自然和混合类世界遗产地[12]涵盖各类生态系统，如洞穴、沙漠、岛屿、湖泊、湿地、冰川、高山、火山、沿海和海洋区域、大草原和森林。这些遗产地中的景观有的呈现出独特的自然美景，有的代表地球历史上重要的发展阶段，有的为重要的生态和生物过程提供场所，有的则是护佑受到威胁的稀有物种的生物多样性热点[13]。除了拥有突出的普遍价值并为生物多样性保护作出对全球而言重要的贡献外，这些遗产地还有利于当地社区和更广泛的人类社会的福祉。它们支持土著人民的遗产、生计和传统生活方式，通过向数以百万计的人提供数不胜数的产品和服务，对地区和国家的社会经济发展起着关键作用。例如，超过90%的入选自然遗产地通过旅游休闲活动为当地社

9 加入并批准《世界遗产公约》的国家被称为缔约国。
10 《实施<世界遗产公约>操作指南》第49段：https://whc.unesco.org/en/guidelines/。
11 截至2021年10月，共有897处文化遗产地、218处自然遗产地和39处混合遗产地。在257处自然和混合遗产地中，50处遗产地由于其海洋价值入选。遗产名录可在以下网站查阅：https://whc.unesco.org/zh/list/。
12 自然遗产地和混合遗产地在下文统称为世界遗产地。
13 “管理世界自然遗产”：https://whc.unesco.org/en/managing-natural-world-heritage/。

区创造就业，提供收入。[14] 世界遗产地还提供至关重要的生态系统服务，三分之二的遗产地是重要的淡水水源，约一半遗产地有助于预防洪涝或山体滑坡等灾害[15]。

许多自然遗产地都保护着独特的森林生态系统，从刚果民主共和国萨隆加国家公园的热带雨林[16]到加拿大皮玛希旺·阿奇[17]的北方森林景观（**图1**），不一而足。这些生态系统的完整性对维持其生态系统过程至关重要，这些过程既是其突出的普遍价值的基础，也提供了碳固存和碳储存等生态系统服务[18]。

图1: 刚果民主共和国萨隆加国家公园的热带雨林（左）和加拿大皮玛希旺·阿奇的北方森林景观（右）

© Cody Pope

© Pimachiowin Aki / Hidehiro Otake*

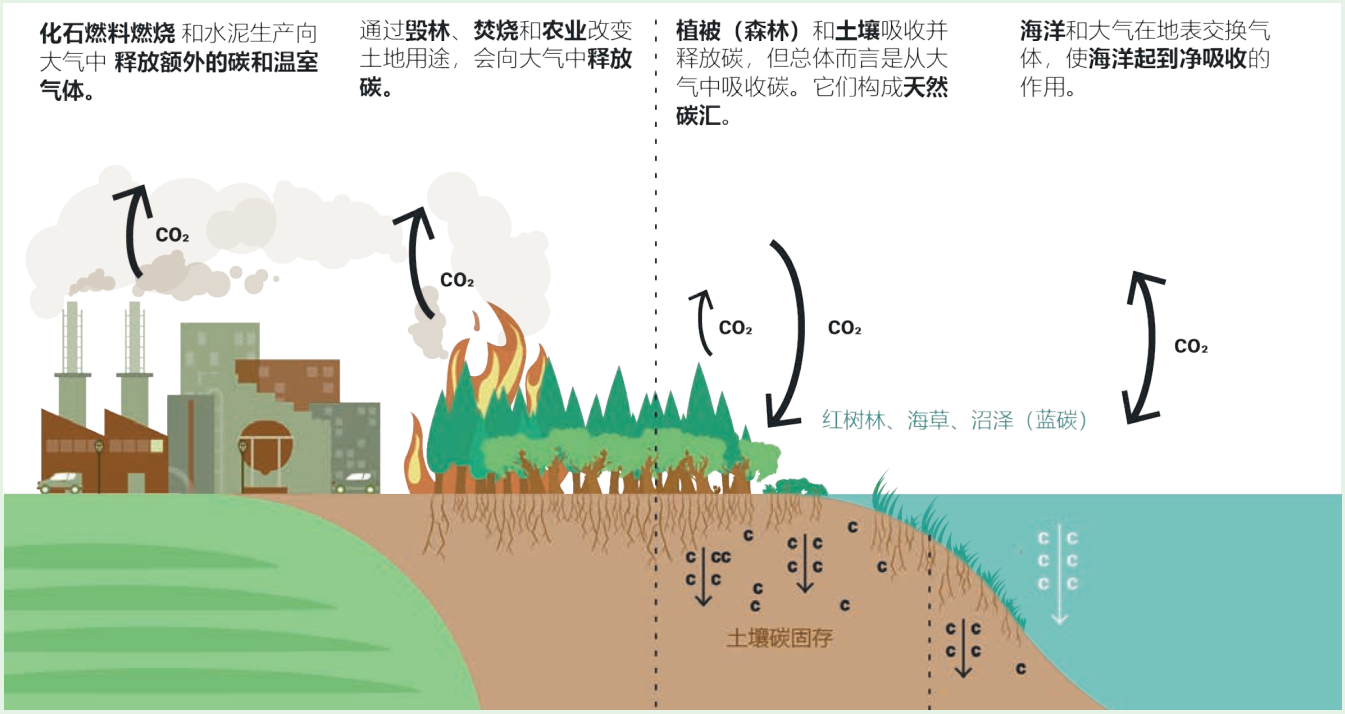
1.2 全球碳循环中的森林

在全球碳循环中，二氧化碳（CO_2）不断在陆地植被、海洋和大气之间转移交换（**图2**）。这种碳转移有时被称为“快”碳循环，因为碳在这些系统中的流动速度比“慢”碳循环快几个数量级，后者指碳在岩石、土壤、海洋和大气间的流动，通常发生在地下或深海。[19]当释放入大气的碳与海洋和陆地从大气中吸收的碳等量时，全球碳循环即实现平衡。但人类燃烧煤、石油和天然气等化石燃料，将“慢”碳循环中的“老”碳释放入大气，其速度超过了陆地植被和海洋可以吸收和储存多余碳的能力，扰乱了“快”碳循环。[20] 这导致二氧化碳在大气中累积，引起全球气候变化。

在很长一段时期，森林从大气中自然吸收的碳多于其向大气释放的碳，因此森林即使非常古老也能发挥碳汇的作用。[21、22] 如果没有人类干扰或人类干扰极低，其结果是森林生态系统在生态系统高度完整的强化下，拥有庞大、稳定的碳储库，可以将这些碳储存数千年甚至更久。[23] 实际上，世界森林储存的碳（约861吉吨碳（Gt C），亦即3160吉吨二氧化碳[24、25]）超过了可开采化石燃料的储量（约750吉吨碳，亦即2750吉吨二氧化碳[26]）。森林中的碳主要储存在树木（地上生物量）、根茎（地下生物量）和土壤中。[27]

14 Spenceley et al., 2021。
15 Osipova et al., 2014。
16 https://whc.unesco.org/en/list/280/。
17 https://whc.unesco.org/en/list/1415/。
18 Osipova et al., 2014。
19 美国国家航空航天局，2011年。
20 政府间气候变化专门委员会（气专委），2019年。
21 Duque et al., 2021。
22 Qie et al., 2017。
23 Barber et al., 2020。
24 向大气中释放1吉吨碳（Gt C）相当于3.67吉吨二氧化碳（Gt CO_2）。
25 Pan et al., 2013。
26 Heede and Oreskes, 2016。
27 Pan et al., 2013。

图2: 碳在地球活态（生物）部分中（有时被称为全球碳循环的“快速”部分）的流动概览



资料来源：教科文组织。

森林从大气中清除二氧化碳的速率取决于森林的年龄、生产力、树种组成和环境条件。[28]但是，人类活动可能使森林覆盖区域变为净碳源。枯树燃烧或腐烂都会向大气释放部分所含的碳，燃烧还会产生甲烷（CH_4）和一氧化二氮（N_2O）等其他强效温室气体。无论是由于采取管理措施，清理土地以改变其用途，还是由于自然和人类驱动的森林干扰，当森林退化、被清除或烧毁时，这些气体都被释放到大气当中。[29、30]过去几百年来，土地用途的改变、毁林、森林退化和农业扩张都助推了（尽管其力度逊于化石燃料[31]）大气中二氧化碳浓度的升高。[32]

长时期内森林释放和吸收的碳量取决于几个主要因素。影响排放量的首要决定因素是干扰的类型和强度，以及清除森林时储藏在森林中并向大气释放的碳量。[33]鉴于相比较年轻或正在恢复的森林，较古老、较成熟的森林通常单位面积存储的碳更多，当这些森林被完全、彻底清除时排放量最大（图3）[34、35]。不过，干扰和相关排放的发生是连续统一的。低强度干扰，如林下层火灾，一般只释放少量储存的碳，可能有利于生态系统的运行[36]；而高强度干扰，如为扩大农业用地完全清除树木，会释放所有储存在树木中的碳，以及部分储存在土壤中的碳。[37]

28 Cook-Patton et al., 2020。
29 气专委，2019年。
30 Janowiak et al., 2017。
31 Blanco et al., 2014。
32 IPCC, 2019。
33 Baccini et al., 2012。
34 气专委，2006年。
35 Alexandrov, 2007。
36 Goetz et al. 2012。
37 Zhou et al., 2013。

毁林和其他对森林的重大干扰会导致较快排放，但随着森林的生长，森林从大气中清除二氧化碳的能力将逐渐提高。一般而言，正在从过去的干扰中恢复的较年轻森林捕获碳的速度比成熟森林快，低纬度（热带或亚热带）或湿润森林捕获碳的速度比高纬度（温带或北方）或干旱森林快。[38] 如果森林受到干扰后得以恢复，碳排放增加后会重新出现碳捕获。[39] 但如果被清理的森林遭到永久毁坏，或退化森林中退化压力仍然存在，森林不仅会释放储存的碳，而且之后也不会出现碳捕获，因为森林捕获碳的“泵”已经关闭（图3）。

图3: 不同森林和土地用途的碳储存、排放和清除

资源来源： 世界资源研究所。

1.3 世界遗产地森林构成强大的碳汇

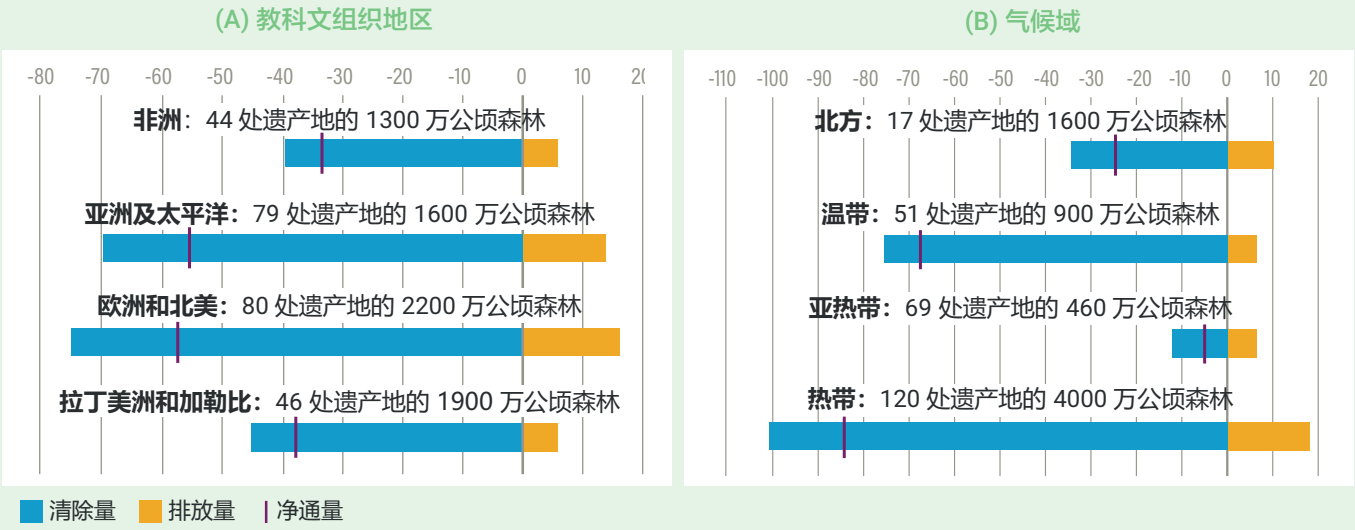
得益于数据合成工作与大规模监测，科学界对森林在全球碳循环中作用的认识已经有所提高。[40、41、42] 尽管如此，在局部评估森林对气候的影响仍往往因缺乏监测数据而受阻，特别是在许多缺乏定期、全面森林资源调查的国家。[43] 近期的研究将遥感观测数据与有限的实地测量数据相结合，得以在更大的地理范围内，以更高的空间分辨率评估森林—大气碳通量。[44、45] 确定碳储量和森林—大气通量（森林里储存的碳和森林向大气释放或从大气中吸收的二氧化碳），对评估世界遗产地对气候调节的贡献及其在减缓气候变化方面的潜力至关重要。

本报告介绍在一项对世界遗产地碳通量的新研究中得到的结果（方框1）。数据显示，过去20年来，这些遗产地范围内的6900万公顷森林[46]（约为德国国土面积的两倍）共同构成每年约1.9亿吨二氧化碳当量的净碳汇。[47] 这一年度碳汇量相当于英国2019年化石燃料所致二氧化碳排放量的大约一半，[48] 反映了森林生长每年清除2.3亿吨二氧化碳与由于人为和自然的森林干扰造成每年排放4200万吨二氧化碳当量之间的差额。

38 气专委，2006年。
39 Williams et al., 2012。
40 https://www.globalcarbonproject.org/。
41 Malhi et al., 2021。
42 粮农组织，2020年。
43 Nesha et al., 2021。
44 Baccini et al., 2017。
45 Xu et al., 2021。

46 森林面积为利用Hansen等人2013年的研究得出的截至2000年的森林面积。该数值包括海洋类世界遗产地当中290万公顷的陆地部分。
47 二氧化碳当量（CO_2e）是以100年来全球变暖潜能值为基础、用来比较各种温室气体排放量的一种度量单位，具体做法是将非二氧化碳温室气体折算为二氧化碳当量。在本报告中，排放量系指各种温室气体的排放量（因为这些估值包括二氧化碳、甲烷和一氧化二氮的排放量），而碳清除量系指二氧化碳的清除量。为简单起见，尽管以二氧化碳当量为单位报告净值，但本报告仍使用“净碳汇”、“净碳源”和“净碳通量”等简便方式反映与森林有关的温室气体排放和二氧化碳清除。
48 全球碳计划，2021年。

图4：按（A）教科文组织地区和（B）气候域分列的教科文组织自然和混合类世界遗产地森林温室气体通量（2001–2020年平均值，百万吨二氧化碳当量/年）



资料来源：Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地汇总数据的分析（方框1）。
注：教科文组织将其会员国分为五个地区组，即：非洲组、阿拉伯国家组、亚洲及太平洋地区组、欧洲和北美组以及拉丁美洲和加勒比地区组。本图不含阿拉伯国家组，因为该组森林通量显著低于其他地区。但该组已纳入其他所有分析。

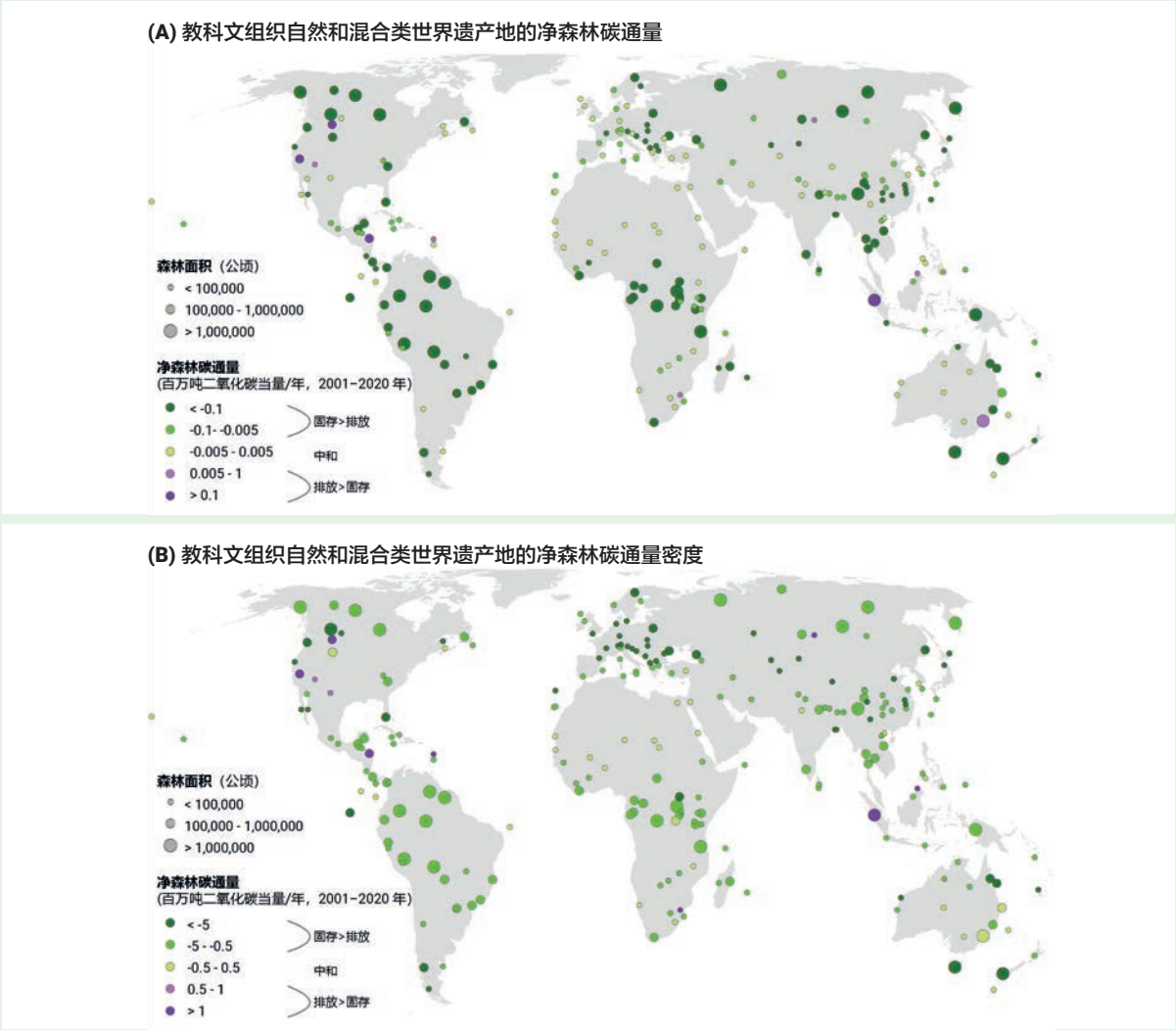
总体而言，教科文组织所有地理区域和气候域的世界遗产地森林构成净碳汇。虽然分布在教科文组织每个地区遗产地的森林区域面积大致相当，欧洲和北美地区和亚洲及太平洋地区的净碳汇作用强于拉丁美洲和加勒比地区和非洲地区（图4a）。如果按广泛的气候域而非地理区域分类，热带和温带遗产地是最强大的净碳汇，而亚热带遗产地最接近碳中和（图4b）。

2001 – 2020年，在257个自然和混合遗产地中，166个为净碳汇，10个为净碳源，剩下的81个接近碳中和，估计其每年的碳通量极少[49]（图5a）。10个净碳源分布在教科文组织的各个地区和气候域。净碳汇则集中在少数几个遗产地，其中最大的五个是：塔斯马尼亚荒原（澳大利亚）、蒂瓦希普纳穆（新西兰）、亚马逊河中心综合保护区（巴西）、萨隆加国家公园（刚果民主共和国）、加拿大落基山公园（加拿大）（表2）。这五个遗产地共占世界遗产网络森林净碳汇总量的三分之一，而十个遗产地占碳汇总量的一半。

净碳汇总量最大的五个遗产地并不一定是单位面积碳汇最多的（表2），也就是说这些遗产地在每公顷森林的持续碳捕获方面也许不是最高效的。净碳汇并不多的遗产地如果每公顷碳固存率较高，仍然可以在地区和当地气候调节方面起重要作用。事实上，55个遗产地每年的净碳固存率

[49] 碳中和遗产地的净碳通量在每年-5至+5吨二氧化碳当量之间。它们的碳通量已纳入所有其他分析。

图5：教科文组织自然和混合类世界遗产地的（A）净森林碳通量和（B）碳通量密度。数值为 2001–2020 年期间的年平均值



资料来源： Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地数据的分析（方框1）。

注：部分遗产地在两份地图中被归入不同的碳中和、碳汇（固存>排放）和碳源（排放>固存）类别，是由于类别界定造成的。森林面积为Hansen等人2013年研究中使用的2000年林木植被数据。

超过每公顷5吨二氧化碳当量，即平均每公顷森林每年吸收的碳超过了一辆普通乘用车的排放量[50]（图5b）。平均而言，世界遗产网络内森林的每公顷碳固存率比全球森林平均碳固存率高50%，与全球受保护森林的平均碳固存率相似。[51、52]在以海洋为主的遗产地中的森林覆盖部分平均净碳固存率更高（-5.9吨二氧化碳当量/公顷/年），因为这些遗产地拥有生产力极高的红树林。[53]

[50] 美国环境保护署（US EPA），2018年。
[51] 吨二氧化碳当量/公顷/年（世界遗产网络），-1.8吨二氧化碳当量/公顷/年（森林），-2.7吨二氧化碳当量/公顷/年（受保护森林）。
[52] Harris等人2021年计算的全球和受保护区域的净碳通量。受保护区域为世界保护区数据库Ia/b类和II类。
[53] 教科文组织，2021年。

表2： 按净碳汇规模（总量和每公顷数量）排名的五大教科文组织自然和混合类世界遗产地

排名	净碳汇（百万吨二氧化碳当量/年）	单位面积净碳汇（吨二氧化碳当量/公顷/年）
1	**塔斯马尼亚荒原**（澳大利亚）(21)	**冰川国家公园**（阿根廷）(16)
2	**蒂瓦希普纳穆**（新西兰）(13)	**塔斯马尼亚荒原**（澳大利亚）(14)
3	**亚马逊河中心综合保护区**（巴西）(10)	**马德拉月桂树公园**（葡萄牙）(13)
4	**萨隆加国家公园**（刚果民主共和国）(9.3)	**布里特威斯湖国家公园**（克罗地亚）(12)
5	**加拿大落基山公园**（加拿大）(8.3)	**喀尔巴阡山脉及欧洲其他地区的原始山毛榉林**（18个国家）(11)

资料来源： Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地的分析（方框1）。
注： 本表不考虑以海洋为主的遗产地，因为如果纳入这些遗产地，按单位面积净碳汇计算的前五大遗产地将是具有高生产力红树林的海洋遗产地。

方框1： 所使用的世界遗产地森林碳通量和碳储量评估方法

本报告使用的数据[54]系通过将地球观测数据与政府间气候变化专门委员会《国家温室气体清单指南》[55]相结合而产生，以估算2001–2020年全球范围内30米分辨率森林温室气体排放量、碳清除量和净碳通量。排放包括所有碳库（地上和地下生物量碳、枯死木、枯落物和土壤碳）以及三大温室气体（二氧化碳、甲烷和一氧化二氮）。排放估值基于林木植被损失地图、碳密度地图和背景信息，如林木植被损失的驱动因素和火灾范围。泥炭地排放基于推定排水和/或燃烧区域。森林碳清除估值包括地上和地下生物量累计值，并参考了基准林木植被范围地图和根据不同资料来源得出的空间化清除因子。净碳通量为排放量和清除量之差。排放量为年计算值，但清除量和净碳通量为年平均值，因为森林碳汇时间趋势方面的地理空间数据有限。

2000年地上活态木本生物量中的碳储量是综合利用实地清点测量、飞机和航天器装载光探测和测距（LIDAR）仪以及光学卫星成像得出的，可能低估高密度地点的碳储存。[56]地下生物量、枯死木和枯落物的碳数值根据地上碳数值计算。土壤碳含量系根据SoilGrids数据库第二版数据估算。[57]

这是首次对教科文组织所有自然和混合类世界遗产地的森林碳通量进行估算。遗产地边界的Shapefile文档取自世界保护区数据库[58]，并经过调整。本报告所列统计数据来自对研究所涉时期内遗产地陆地区域边界范围内排放量、清除量和净碳通量估值的分析。碳储量估值来自同一数据源。

本报告使用的碳储量和碳通量数据是一个灵活的数据整合框架初次迭代的产物，该框架允许不断更新不同数据输入层。随着地球观测和森林地理空间数据的进步，这些估值的准确度和精确度还将继续提高。这些数据具有如下三个局限：许多小规模干扰被排除在外并且大地卫星传感器可能无法捕捉森林碎片化的影响，而这两种情况可能带来全球和特定地区的重大排放量，因此排放量可能被低估[59]；碳清除估值仅基于有限的空间信息，不包含2012年以后新增的林木植被面积；由于缺乏可用数据，无法在遗产地一级进行计算，没有关于这些估值的不确定度值。

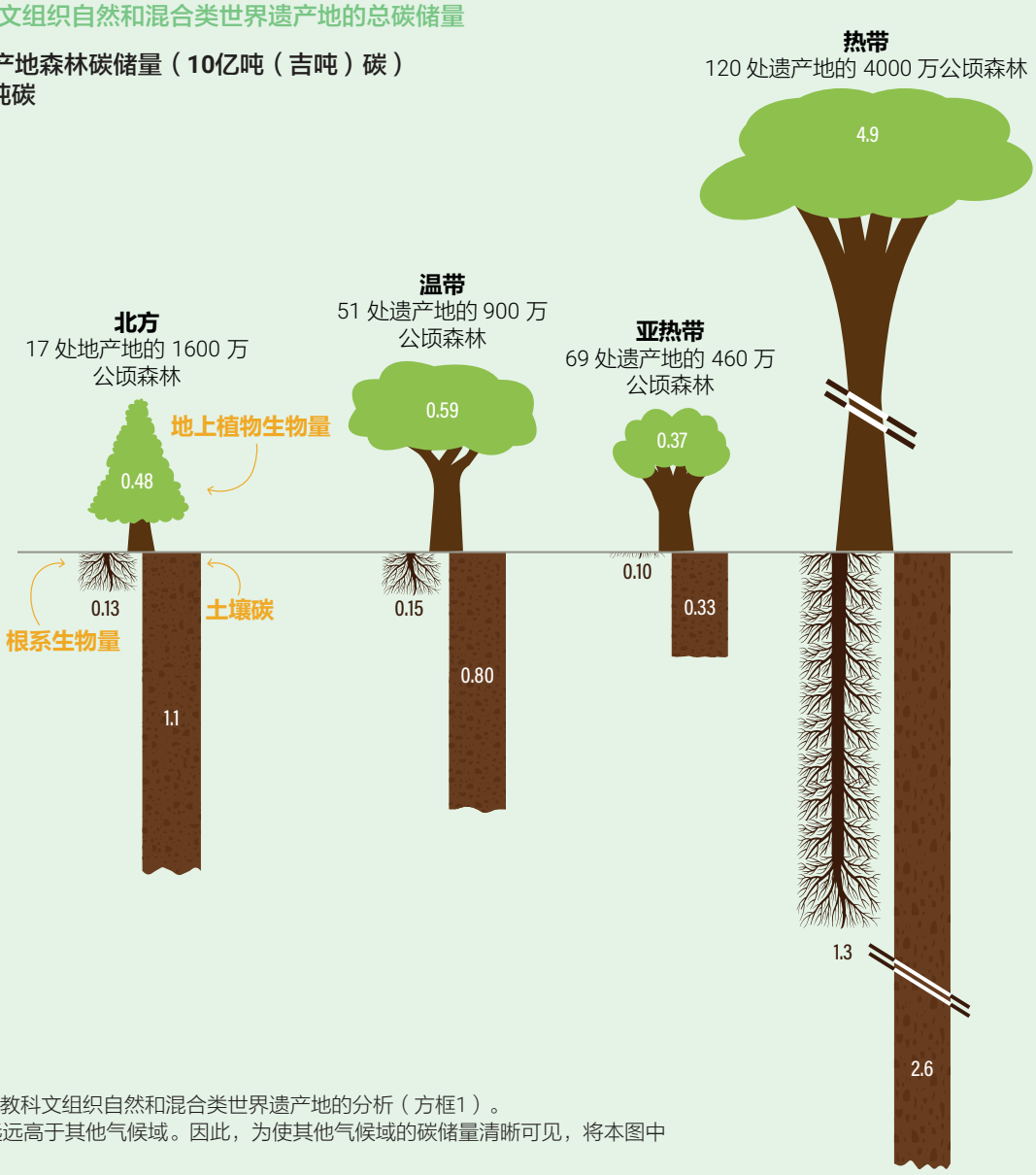
54 Harris et al., 2021。
55 气专委，2006年。
56 Issa et al., 2020。
57 Hengl et al., 2017。
58 环境署世界养护监测中心和世界自然保护联盟，2021年。
59 Pearson et al., 2017。

1.4 世界遗产地森林是碳的大储库

世界遗产地森林旨在作为具有高度完整性并确保长期稳定的碳储存的生态系统。虽然此前已经采用其他方法估算世界遗产地森林生态系统的碳储量[60]，但自上次评估以来，世界遗产地网络又有所扩展。除评估碳通量（第1.3节）外，本报告还介绍对整个世界遗产地网络森林生物量和土壤碳储量的一次新的分析研究（方框1）。

图6：按气候域分列的教科文组织自然和混合类世界遗产地的总碳储量

2000年教科文组织世界遗产地森林碳储量（10亿吨（吉吨）碳）
遗产地的总碳储量：13吉吨碳



资料来源：Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地的分析（方框1）。
注：热带的地上和地下碳储量远远高于其他气候域。因此，为使其他气候域的碳储量清晰可见，将本图中代表热带的矩形截断了。

[60] 2012年Pandey报告106处遗产地的碳储量为10.5吉吨碳（生物量当中6.3吉吨碳，土壤中4.1吉吨碳）。2014年Osipova等人报告130处泛热带地区遗产地森林碳生物量为5.7吉吨碳。

世界遗产地森林碳储量估计为130亿吨（13吉吨）碳，包括在地上生物量（6.3吉吨碳）、根系生物量（1.7吉吨碳）和土壤（4.8吉吨碳）中储存的碳。世界遗产地森林储存的碳超过了科威特已探明石油储量的碳含量。[61]如果这些碳全部以二氧化碳的形式释放入大气中，将相当于全球化石燃料二氧化碳年排放量的约1.3倍。[62]热带遗产地森林所含碳储库占世界遗产地网络碳储库总量的近70%，而所拥有的森林面积则占总面积的大约60%（图6）。总体而言，木本生物量中的碳储量比土壤中的碳储量多三分之二，不过北方遗产地森林主要将碳储存在土壤中。

和碳通量的情况一样，碳储存也集中在少数几个遗产地。五个大规模热带遗产地所储存的碳共占世界遗产地网络森林碳储量的近30%（表3），12个碳储量最大的遗产地共储存了超过总量一半的碳。这12个遗产地中只有3个不在热带，进一步凸显热带世界遗产地的森林碳储量占比可观。

世界遗产地森林的平均生物量碳密度（地上和地下）为每公顷116吨碳，与100桶石油的碳含量相当[63]，比全球森林平均碳密度高24吨。[64] 碳密度最高的全陆上遗产地位于温带和热带地区（表3）。世界遗产地森林平均土壤碳密度为每公顷69吨碳，土壤碳密度最高的全陆上遗产地是洛伦茨国家公园（印度尼西亚）、蒂瓦希普纳穆—新西兰西南部（新西兰）、塔斯马尼亚荒原（澳大利亚）、汤加里罗国家公园（新西兰）和鲁文佐里山国家公园（乌干达）（表3）。部分海洋和沿海遗产地也能通过海草场、潮汐沼泽地和红树林，以非常高的密度储存碳（被称为蓝碳）（方框2）。

方框2：教科文组织海洋类世界遗产地：蓝碳资产

除森林外，沿海和海洋生态系统通过捕获大量“蓝碳”，也在碳固存方面发挥着重要作用。蓝碳是沿海和海洋生态系统捕获和储存的有机碳——主要来自腐烂的植物叶片、树木、根茎和动物。蓝碳生态系统包括海草场、潮汐沼泽地和红树林。这些生态系统构成环绕世界海岸线的一个狭长地带，具有很高的生产力，作为众多海洋和陆地生物的栖息地和繁育地，在营养和碳循环方面起着重要的生态作用，也有助于保护海岸线和维持当地社区的生计与福祉。尽管50个因其独特的海洋价值而列入教科文组织《世界遗产名录》的遗产地只占全球海洋面积的不到1%，但这些遗产地及其有可用数据的周边区域至少占全球蓝碳资产的15%。这些碳储量估计约为1.4吉吨碳，蓝碳储量最高的五个遗产地为：大堡礁（澳大利亚）（含5.02亿吨碳）、大沼泽地国家公园（美国）（含4亿吨碳）、阿尔金岩石礁国家公园（毛里塔尼亚）（含1.1亿吨碳）、孙德尔本斯国家公园（孟加拉国）（含1.1亿吨碳）和孙德尔本斯国家公园（印度）（含6000万吨碳）[65]。

[61] 世界遗产地森林的碳储量为13吉吨碳，而科威特的原油储量为1020亿桶，含12吉吨碳。科威特的原油储量估值来自美国能源信息署2021年数据，每桶原油的碳估值（0.118吨碳/桶）来自美国环境保护署2021年数据。

[62] 根据全球碳计划2021年数据，化石燃料释放36.4吉吨二氧化碳当量的温室气体，而教科文组织自然和混合类世界遗产地储存了47吉吨二氧化碳（13吉吨碳）。

[63] 0.118吨碳/桶，来自美国环境保护署2021年数据。

[64] Harris et al., 2021。

[65] 教科文组织，2021年。

表3：按森林碳储存参数排名的前五大教科文组织自然和混合类世界遗产地

排名	碳储存总量（百万吨碳）	生物量碳储存密度（吨碳/公顷）	土壤碳储存密度（吨碳/公顷）
1	**亚马逊河中心综合保护区**（巴西）(1020)	**红杉国家和州立公园**（美国）(302)	**洛伦茨国家公园**（印度尼西亚）(130)
2	**萨隆加国家公园**（刚果民主共和国）(840)	**奥林匹克国家公园**（美国）(280)	**蒂瓦希普纳穆—新西兰西南部**（新西兰）(130)
3	**苏门答腊热带雨林遗产**（印度尼西亚）(720)	**优胜美地国家公园**（美国）(250)	**塔斯马尼亚荒原**（澳大利亚）(120)
4	**洛伦茨国家公园**（印度尼西亚）(670)	**俄卡皮鹿野生动物保护地**（刚果民主共和国）(220)	**汤加里罗国家公园**（新西兰）(120)
5	**奇里比克特国家公园**（哥伦比亚）(570)	**桑加跨三国保护区**（喀麦隆、中非共和国、刚果）(220)	**鲁文佐里山国家公园**（乌干达）(110)

资料来源：Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地的分析（方框1）。
注：排名清单不含以海洋为主的遗产地，因为如果纳入这些拥有大量红树林、生产力较高的遗产地，它们将主导碳储存密度参数排名。2021年教科文组织发布了关于世界遗产地蓝碳的较详细信息。由于卫星在极高碳密度估算方面的局限，碳储存总量和生物量碳储存密度可能被低估[66]。

[66] Issa et al., 2020。

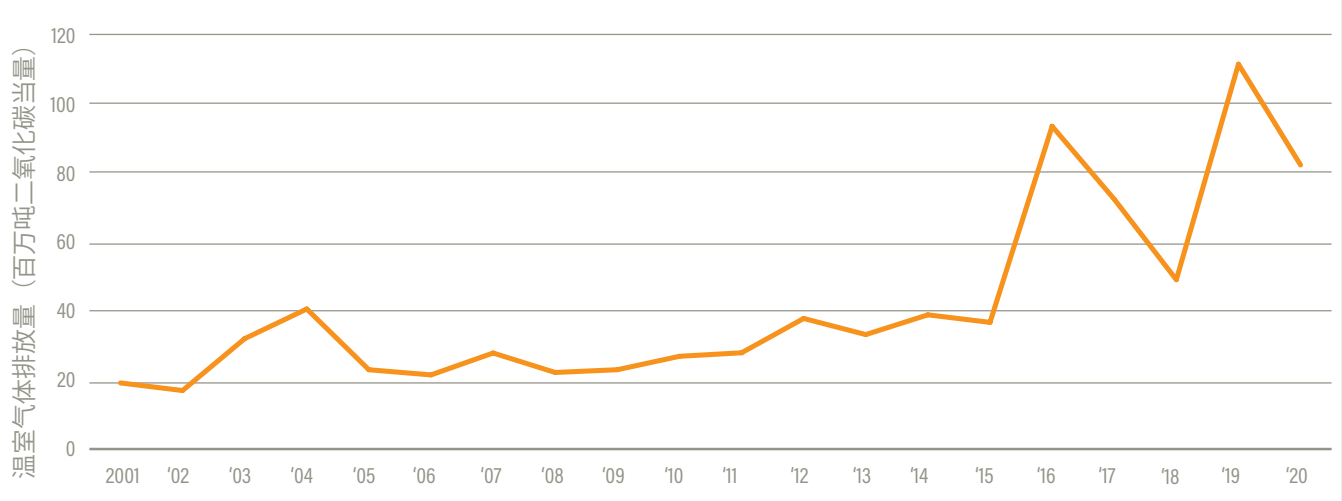
Ivindo National Park (Gabon) © Lee White*

碳汇和碳储库面临威胁

世界遗产地森林是世界上得到最妥善保护的森林。然而，令人震惊的是，自2000年以来，世界遗产地丧失了350万公顷森林（损失总面积超过比利时国土面积）[67]。过去20年来排放量增加（图7），而且据估计，在2001 – 2020年期间有10个遗产地成为了净碳源（表4）。然而，就排放量而言，令人担忧的并不仅仅是这10个遗产地。有的遗产地虽然仍为净碳汇，但排放量出现了激增，或呈现明显的上升趋势，威胁着未来的碳汇强度和现有碳储量的稳定性。鉴于世界遗产地森林由于其受保护地位，一般被认为是净碳汇，排放量相对较低，碳储存稳定，因此我们需要了解为什么有的遗产地碳排放量超过捕获量，为什么有的遗产地年排放量激增或呈现明显的上升趋势。

为了更好地了解这些发展变化趋势，利用《世界遗产公约》反应性监测程序[68]和《IUCN世界遗产展望2020》提供的信息，对世界遗产地碳汇和碳储库面临的主要威胁进行了影响评估[69]（方框3）。这两个信息源显示，世界遗产地面临的两种最普遍威胁分别是：气候变化及其相关恶劣天气（如火灾、风暴、洪水、干旱、极端气温、栖息地变迁/改变）和与各种人类活动有关的土地使用压力，如非法砍伐、木材采伐、牲畜饲养/放牧和农作物种植造成的农业侵蚀等。据报告，约60%的世界遗产地面临这些压力。本报告未评估其他威胁的影响，如入侵物种、旅游业、管理和体制因素等，因为相关数据来自实地调查或机构评估，无法采用本报告使用的地理空间碳通量数据进行分析。对10个净碳源遗产地（表4）以及《世界遗产公约》反应性监测程序和《IUCN世界遗产展望2020》发现的面临这两种威胁的特定遗产地进行了评估，以了解这两种主要排放威胁所造成的影响。

图7：教科文组织自然和混合类世界遗产地年度森林温室气体毛排放量估值



资料来源：Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地数据的分析（方框1）。
注：2011 - 2015年期间方法和数据源的变化可能使近年排放量估值比此前几年高。这些变化共同作用，可导致排放量的增长被高估。关于方法变化的详情，见脚注链接[70]。

[67] 根据Hansen等人的研究，2013年。
[68] 保护状况信息系统：https://whc.unesco.org/en/soc/。
[69] Osipova et al., 2020。
[70] How Tree Cover Loss Data Has Changed Over Time | GFW Blog (globalforestwatch.org) 。

方框3：教科文组织自然和混合类世界遗产地保护状况监测

《世界遗产公约》的宗旨是保护因其突出的普遍价值（OUV）而得到承认的世界上最珍贵的遗产地。为此，《公约》设立了一个列入教科文组织《世界遗产名录》的遗产地保护状况监测机制，即：反应性监测程序[71]。该程序包括提交“……有关具体濒危世界遗产保护状况的报告”，从而可以查明遗产地边界内外新出现的威胁其突出普遍价值的保护问题。每年为受到最严重威胁的教科文组织自然和混合类世界遗产地编写约60份报告，并提交《世界遗产公约》的理事机构——世界遗产委员会[72]。这些报告使世界遗产委员会得以评估遗产地状况，并最终决定是否有必要采取具体措施，解决反复出现的问题[73]。自1979年以来，为180多处自然和混合遗产地编制了超过1500份保护状况报告，这些报告仍然是追踪任何国际公约保护问题最全面的文献来源之一。

为监测未纳入《世界遗产公约》反应性监测程序的遗产地并一次性提供对所有自然和混合遗产地的全面评估，《公约》自然领域的技术咨询机构——世界自然保护联盟推出了《IUCN世界遗产展望》[74]。《世界遗产公约》反应性监测程序和《IUCN世界遗产展望》应用了根据在自然保护领域得到广泛应用的《保护实践开放标准》威胁分类[75]编制的标准化威胁清单。该清单将威胁分为十余个大类，每个大类又细化为若干子类。本报告考虑的四个大类及其子类威胁包括：

- 气候变化和恶劣天气（包括风暴/洪水、极端气温、干旱、栖息地变迁/改变等子类），
- 自然系统变更（包括火灾/灭火等子类），
- 农业（包括牲畜饲养/放牧、农作物、林业/木材生产等子类），
- 生物资源使用（包括砍伐/木材采伐等子类）。

尽管火灾在许多干旱温带/热带森林以及北方森林中是自然生态过程的一部分，而且火灾常常是人类活动引发的[76]，但在本项分析中，火灾仍被认为是与气候有关的威胁，因为对排放有重大影响的大火往往与气候变化导致的极端气温和干旱条件有关[77]。此外，本报告采用“土地使用压力”这一更加笼统的术语指代各类农业和生物资源使用，以反映农业以外的土地使用仍有可能侵蚀世界遗产地这一事实。

71 《实施<世界遗产公约>操作指南》第169段：https://whc.unesco.org/en/guidelines/。
72 保护状况信息系统：https://whc.unesco.org/en/soc/。
73 措施包括将遗产列入《濒危世界遗产名录》。
74 Osipova et al., 2020。
75 https://conservationstandards.org/library-item/threats-and-actions-taxonomies/。
76 McLauchlan et al., 2020。
77 Pechony and Shindell, 2010。

表4： 按净通量排名的过去20年森林为净温室气体排放源的教科文组织自然和混合类世界遗产地

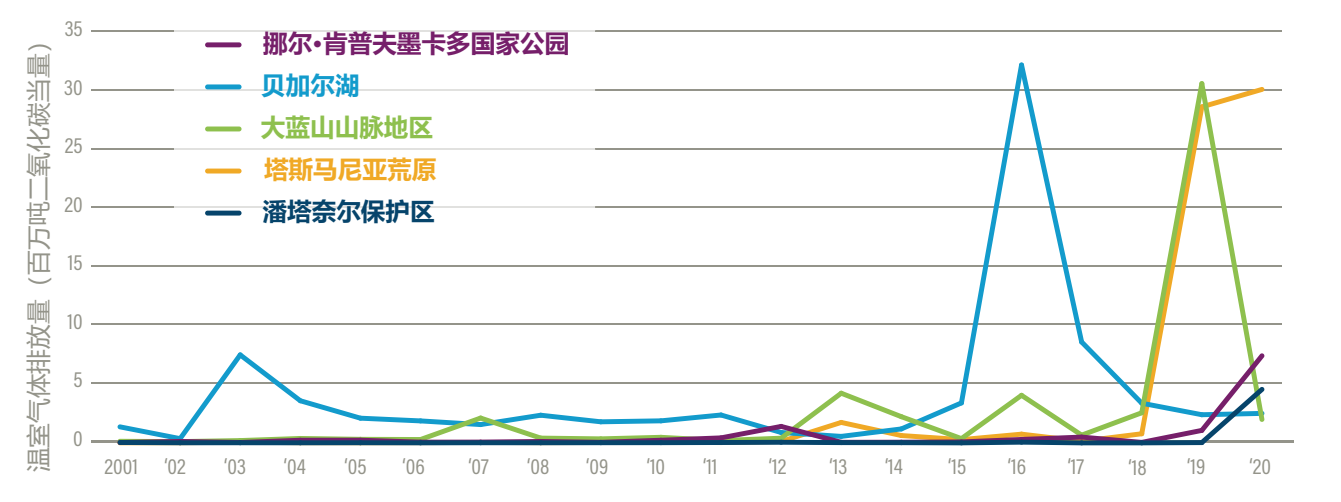
排名	遗产地（国家）	净排放量（千吨 CO_2e/年）	排放量（千吨 CO_2e/年）	清除量（千吨 CO_2e/年）	主要威胁/因素
1	**苏门答腊热带雨林遗产**（印度尼西亚）	3000	4200	1200	砍伐/木材采伐、农作物
2	**雷奥普拉塔诺生物圈保留地**（洪都拉斯）	1200	2600	1400	砍伐/木材采伐、牲畜饲养/放牧、火灾/灭火
3	**优胜美地国家公园**（美国）	700	990	300	火灾/灭火
4	**沃特顿冰川国际和平公园**（加拿大、美国）	280	1000	750	气温变化、火灾/灭火
5	**巴伯顿玛空瓦山脉**（南非）	91	350	260	农作物、林业/木材生产、牲畜饲养/放牧
6	**基纳巴卢山公园**（马来西亚）	85	99	14	农作物、2015年地震*
7	**乌布苏盆地**（俄罗斯联邦、蒙古）	46	91	45	牲畜饲养/放牧、火灾/灭火
8	**大峡谷国家公园**（美国）	36	85	50	干旱
9	**大蓝山山脉地区**（澳大利亚）	30	3200	3100	栖息地变迁/改变、干旱、极端气温、风暴/洪水、火灾/灭火
10	**毛恩特鲁瓦皮顿山国家公园**（多米尼克）	9	32	22	气候变化和恶劣天气（极端气温、风暴/洪水，包括2017年的飓风“玛利亚”）

资料来源： Harris等人2021年对教科文组织自然和混合类世界遗产地的分析（方框1）。威胁类别直接取自《世界遗产公约》反应性监测程序和《IUCN世界遗产展望2020》的标准子类。
注： 数值经四舍五入仅保留最大的两个数位值，因此净排放量可能不完全等于排放量与清除量之差。
* 2015年的地震引发了大规模的山体滑坡，导致了超过2000公顷的森林损失。

2.1 气候变化助燃前所未有的野火，造成排放量激增

2010年代中期以来，部分遗产地出现了与极端气温和干旱有关的猛烈野火[78、79]，造成大量排放。最严重的野火包括2016年俄罗斯联邦贝加尔湖火灾[80]、2019年和2020年澳大利亚塔斯马尼亚荒原[81]和大蓝山山脉地区火灾[82]。其中每一场野火在一年内排放的温室气体均超过3000万吨二氧化碳当量，比世界逾半数国家化石燃料产生的国家年排放量还多（图8）[83]。近期一些其他大火则烧毁了历史上鲜有火灾的热带森林生态系统，如位于亚马逊盆地的玻利维亚挪尔·肯普夫墨卡多国家公园。

图8：遭受严重火灾的特定教科文组织自然和混合类世界遗产地森林温室气体年度毛排放量估值

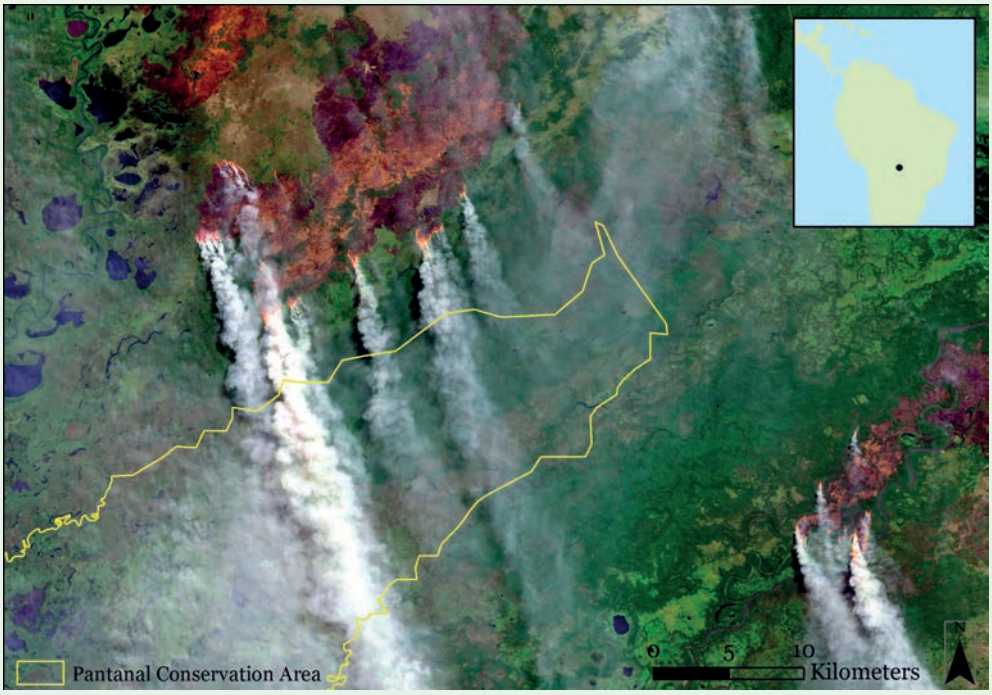


资料来源：Harris等人2021年对选定自然和混合类世界遗产地的分析（方框1）。挑选发生过火灾的遗产地所依据的是《世界遗产公约》反应性监测程序和《IUCN世界遗产展望2020》。

在部分案例中，野火源自世界遗产地边界以外有效消防管理较为薄弱的区域，而非遗产地内部[84]。因此，世界遗产地内部火灾造成的排放量（如本报告计估的那样）可能仅占更大面积过火森林造成的火灾排放总量的一小部分。例如，2020年巴西世界遗产地潘塔奈尔保护区火灾导致的排放量仅占当年潘塔奈尔生物圈保护区更广泛生物群系排放量的不到5%[85]（图9，方框4）。

78 Safronov, 2020。
79 van Oldernborgh et al., 2021。
80 保护状况信息系统：https://whc.unesco.org/en/soc/3618。
81 保护状况信息系统：https://whc.unesco.org/en/soc/4128。
82 保护状况信息系统：https://whc.unesco.org/en/soc/4174。
83 利用根据气候观察（www.climatewatchdata.org）提供的气候分析指标工具数据所计算的2018年排放量。
84 保护状况信息系统：https://whc.unesco.org/en/soc/4263。
85 潘塔奈尔是世界上最大的热带湿地，主要分布在巴西的南马托格罗索州和马托格罗索州，并延伸至多民族玻利维亚国和巴拉圭境内。2000年，这一生态地区的一部分，即占巴西潘塔奈尔1.3%的潘塔奈尔保护区被列入教科文组织《世界遗产名录》。同年，占地2640万公顷的区域被指定为教科文组织生物圈保护区。

图9：卫星图像显示2020年8月14日巴西世界遗产地潘塔奈尔保护区附近的野火。2020年10月初，野火已蔓延至遗产地的一小部分区域。



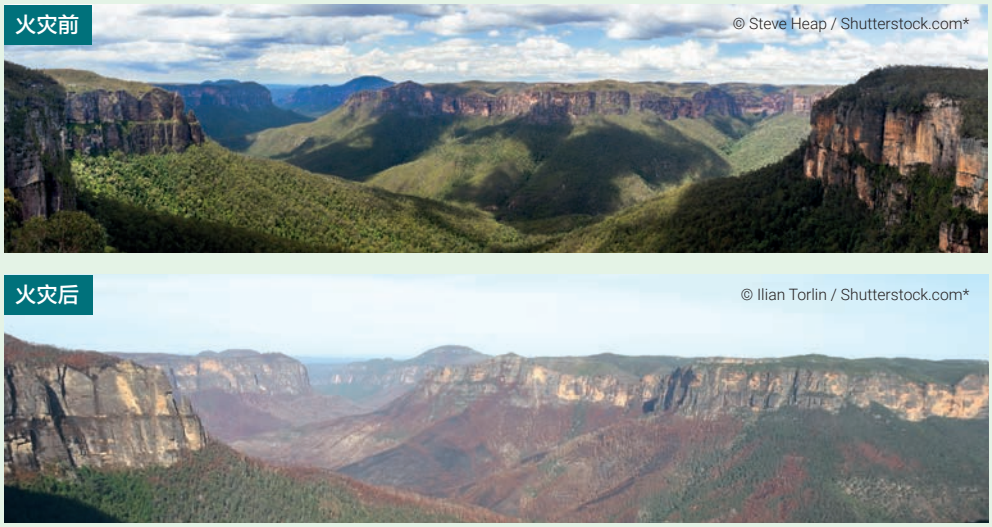
资料来源：哥白尼计划。2020年8月14日哥白尼哨兵2号卫星获取的图像。

气候变化带来更加温暖、干燥的环境，使野火更加猛烈，干旱更加严重[86]，因此部分森林从这类事件中完全恢复的能力受到日益严重的制约，过去或现在的土地管理做法也可能让情况雪上加霜。即使是在经常发生的野火本身构成生态系统动态组成部分的地区，恢复可能也很困难，因为人类引起的气候变化扰乱了原有动态。较严重的火灾可能导致短期排放量激增，并削弱长期碳固存能力，从而减少没有火灾史的遗产地的碳储存总量。自2000年以来，大蓝山山脉地区（澳大利亚）、优胜美地国家公园（美国）、沃特顿冰川国际和平公园（加拿大、美国）等遗产地的火灾季变得更为猛烈、频繁和持久，使这些遗产地成为了净碳源（表4，图10）[87]。

风暴等其他与气候有关的事件也可能造成林木植被大幅丧失，2017年遭遇飓风“玛利亚”的毛恩特鲁瓦皮顿山国家公园（多米尼克）就是一个例子。虽然这里的森林已经适应飓风天气并且会随着时间的推移慢慢恢复，但风暴频率和严重程度的升高，可能会降低森林永久储存与过去干扰频次和强度较低时期储存的同样多碳的能力。

[86] Seidl et al., 2017。
[87] van Oldenborgh et al., 2021。

图10：澳大利亚世界遗产地大蓝山山脉地区格罗斯河谷空中广角视图，大规模野火前（上图）后（下图）对比。褐色区域为火灾痕迹。



2.2 人类活动增加土地使用压力，削弱森林碳汇作用

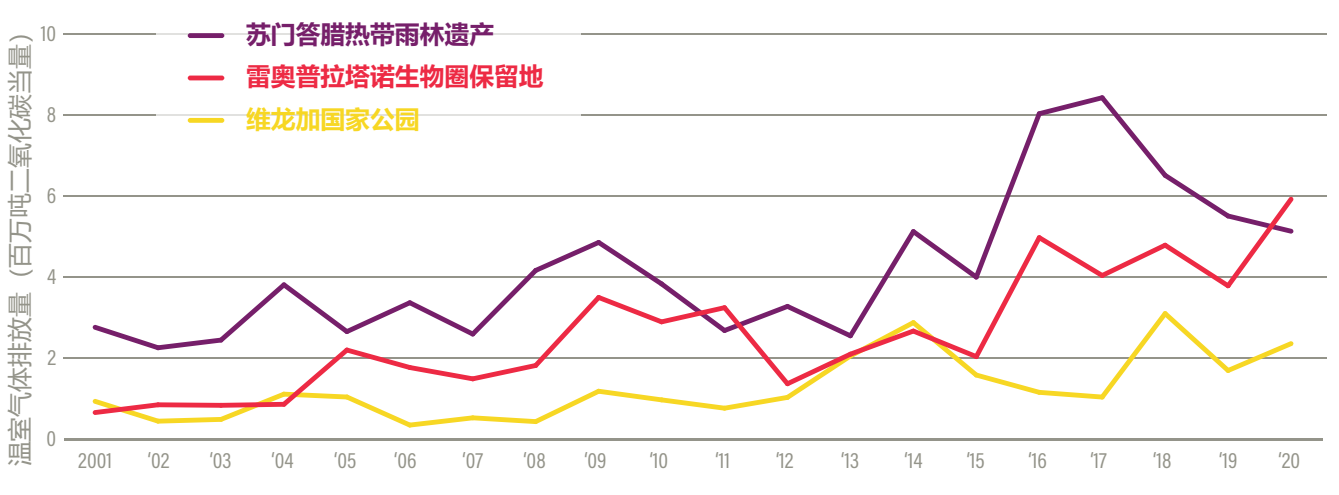
尽管世界遗产地得到全球公认并享有国家级保护地位，但据报告仍有约60%的世界遗产地面临与特定人类活动（如非法砍伐、木材采伐和牲畜饲养/放牧、农作物造成的农业侵蚀）有关的土地使用压力[88]（图11所示案例）。在大多数案例中，资源开采属于非法活动，并正在成为非洲、亚洲及太平洋地区、拉丁美洲和加勒比地区遗产地面临的最主要威胁之一[89]。

图11：刚果民主共和国世界遗产地维龙加国家公园的人为压力：公园内的非法开荒（左）和公园边缘的农田（右）

[88] 根据保护状况信息系统和《IUCN世界遗产展望2020》的数据。
[89] Osipova et al., 2020。

自2001年以来，雷奥普拉塔诺生物圈保留地（洪都拉斯）、维龙加国家公园（刚果民主共和国）和苏门答腊热带雨林遗产（印度尼西亚）的林木植被分别丧失了约20%、10%和5%[90]。自2001年以来，对这些遗产地森林生物量的开采导致排放量增加，森林碳汇减弱，如果没有这些人为干扰，森林碳汇本应更强大（图12）。苏门答腊热带雨林遗产（印度尼西亚）和雷奥普拉塔诺生物圈保留地（洪都拉斯）等遗产地森林区域的温室气体排放量如此之大，以至于在过去二十年间排放量超过了清除量，它们已成为净碳源，其年均净排放量分别为300万吨二氧化碳当量和120万吨二氧化碳当量。这些排放量中的很大一部分是农产品生产扩张造成的[91]。

图12：特定承受土地使用压力的教科文组织自然类世界遗产地的森林温室气体年度毛排放量估值



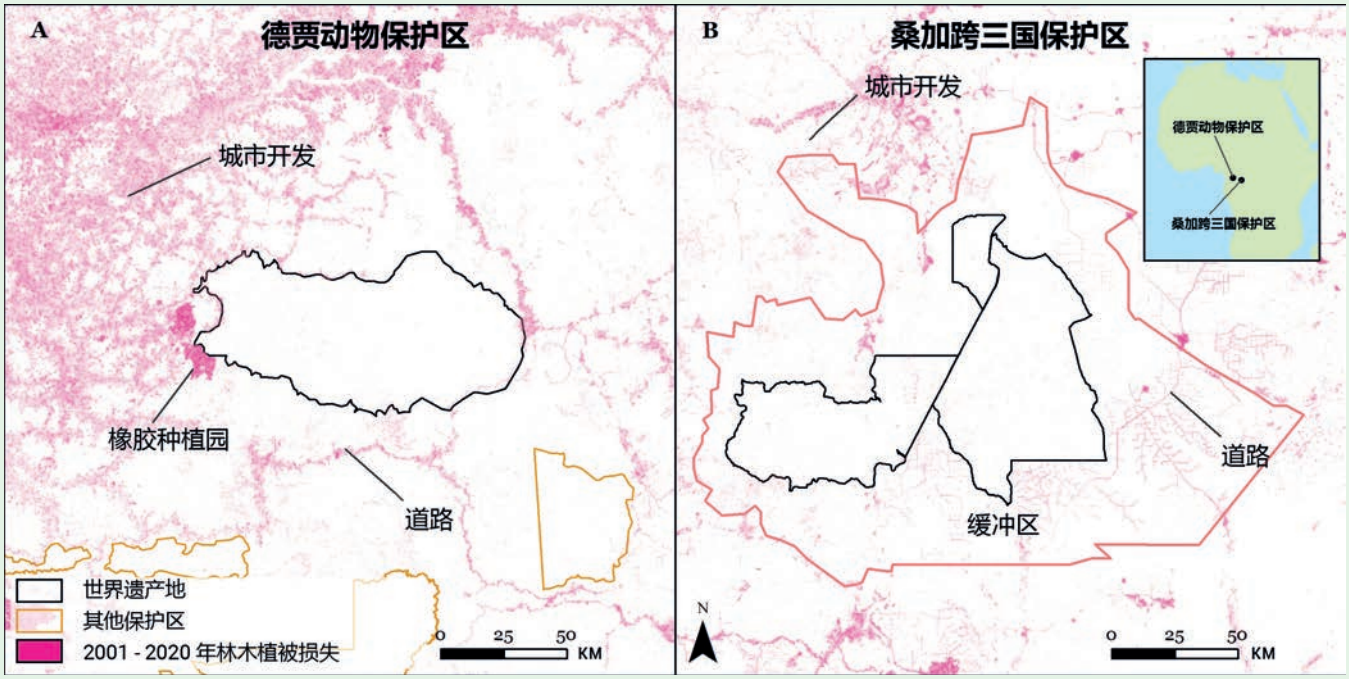
资料来源：Harris等人2021年对选定的教科文组织世界遗产地的分析（方框1）。挑选承受土地使用压力的遗产地所依据的是《IUCN世界遗产展望2020》。

世界遗产地不仅面临内部的土地使用压力，来自外部的压力也可能影响遗产地内部的碳储存。一些世界遗产地由于毗邻区域的土地使用，永久丧失了生物多样且生态生产力高的栖息地，或出现栖息地碎片化[92]，而这种现象可能造成的排放并未计入本分析所使用的数据当中。景观碎片化可能破坏生态连通性，包括一些基本的生态过程和物种的自由迁徙。连通性丧失将导致景观“斑块化”，即形成“孤岛”[93]，造成树木死亡，森林抵御气候变化和人为干扰的能力降低，从而引发生态系统衰败[94]。其结果是持久排放[95、96]。偷猎导致的生物多样性丧失和动物减少，也可能对更广泛的生态系统运行和碳储量稳定性产生深远影响。例如，由于偷猎所致的森林象锐减[97]估计造成经济损失约430亿美元，并使中非森林碳储量减少7%，原因是富含碳的树种生长受阻[98]。

90 这是这些遗产地被列入教科文组织《濒危世界遗产名录》的原因之一。
91 Curtis等人的分析，2018。
92 世界遗产委员会第44 COM 7B.97、7B.99、7B.105、7B.114、7B.174和7B.188号决定：https://whc.unesco.org/en/decisions/。
93 Hilty et al., 2020。
94 Laurance et al., 2000。
95 Brinck et al., 2017。
96 Maxwell et al., 2019。
97 Maisels et al., 2013。
98 Berzaghi et al., 2019。

土地综合管理和缓冲区可以为遗产地提供保护层，让当地利益攸关方参与规划和经济活动。此外，妥善管理的缓冲区也可以充当净碳汇。例如，位于非洲刚果盆地的德贾动物保护区（喀麦隆）没有缓冲区，现在受到景观连通性减弱的威胁[99]。世界遗产地与距其最近的其他保护区之间还出现了城市开发、农业活动和道路（图13a）。虽然周边毗邻区域仍是净碳汇，但由于城市开发和橡胶种植，遗产地以外的森林排放量很大，而且某些土地用途改变预计会导致遗产地内部产生排放。与此相反，桑加跨三国保护区（位于喀麦隆、中非共和国和刚果共和国的75万公顷森林）周边有缓冲区（180万公顷森林），在这里采取可持续的伐木做法，缓冲区的净碳汇是该世界遗产地本身净碳汇的两倍多（分别为460万吨二氧化碳当量/年和210万吨二氧化碳当量/年）（图13b）。

图13：缓冲区管理可减少遗产地承受的压力。没有缓冲区的（A）德贾动物保护区（喀麦隆）周边林木植被损失显著高于拥有缓冲区的（B）桑加跨三国保护区（喀麦隆、中非共和国、刚果共和国）。



资料来源：Hansen et al., 2013。世界遗产地及其他受保护区域周边的林木植被损失和林木植被范围数据来自环境署世界养护监测中心和世界自然保护联盟，2021年。

[99] 世界遗产委员会第43 COM 7B.29号和第44 COM 7B.173号决定：https://whc.unesco.org/en/decisions/。

3

保护世界遗产地碳汇的行动路径

尽管世界遗产地森林被认为共同构成强大的碳汇，但2001－2020年期间仍有10个世界遗产地的森林被确认为净温室气体源。随着迅速且还在不断加快的气候变化和日益加剧的人类干扰与人为压力，世界范围内森林碳储存、排放和固存受影响的遗产地数量可能日益增多[100]。为保护世界遗产地的突出普遍价值、完整性和真实性不受气候变化和其他威胁的负面影响，制定了若干与气候行动有关的机构政策、战略和指导原则（见报告末尾清单）。

依照这些政策、战略和指导原则，考虑到上一节讨论的森林碳储存面临的两种主要威胁，本报告提出直接有助于世界遗产地森林为子孙后代继续发挥强大碳储库和碳汇作用的三条行动路径。这些路径并未详尽无遗地列出世界遗产地的保护行动和应对威胁行动，而是聚焦能够保护世界遗产地森林现有碳储存，确保继续从大气中清除碳的具体行动。第一条和第二条路径分别与上一节讨论的两种主要威胁有关，第三条路径从更高的政策角度将前两条路径连结起来。虽然建议的路径侧重与气候和土地使用有关的特定压力，但完善有效管理以综合应对管理挑战和环境威胁，仍然至关重要。

3.1 快速有效的回应有助于防范与气候有关事件造成的破坏

2000年代初，《世界遗产公约》的理事机构——世界遗产委员会便开始关注气候变化对世界遗产地的影响。世界遗产地日益受到野火和风暴等与气候有关事件的影响，它们如未得到快速有效的应对，可能造成毁灭性后果。这类事件发生时，由于缺乏资金和可靠数据，往往在组织紧急干预行动方面浪费几天宝贵的时间，而在此期间，大量温室气体可能被释放入大气（**方框4**）。部分世界遗产地已经采取措施改善与气候有关风险的管理，具体做法包括通过气候变化适应计划（如澳大利亚的昆士兰湿热带地区[101]和肯尼亚的肯尼亚山国家公园/自然森林[102]）；实施消防综合管理计划（如巴西的塞拉多保护区：查帕达—多斯—维阿迪罗斯和艾玛斯国家公园[103]）；通过海岸保护和洪水调节支持减少灾害风险的举措（如孟加拉国的孙德尔本斯国家公园和印度的孙德尔本斯国家公园）。然而，已制定管理或减少灾害风险政策、计划或程序的世界遗产地数量仍然较少[104、105]。

[100] Osipova et al., 2020。
[101] https://www.wettropics.gov.au/climate-adaptation-plan-for-the-wet-tropics-20202030。
[102] https://whc.unesco.org/document/133484。
[103] Schmidt et al., 2018。
[104] Osipova et al., 2020。
[105] https://whc.unesco.org/en/review/74。

方框4：支持对野火作出快速反应

为快速响应紧急情况，教科文组织于2006年启动了快速反应基金（RRF），以便为无法迅速筹集相应资金的发展中国家世界遗产地（或国际公认具有重大生物多样性价值的地点）提供应急资金[106]。2019年和2020年，快速反应基金为增援肯尼亚山国家公园（肯尼亚）和潘塔奈尔保护区（巴西）的灭火工作提供了应急资金，使火灾在对这两处世界遗产地造成不可挽回的破坏之前得到控制。

2019年肯尼亚山国家公园（肯尼亚）的灭火工作

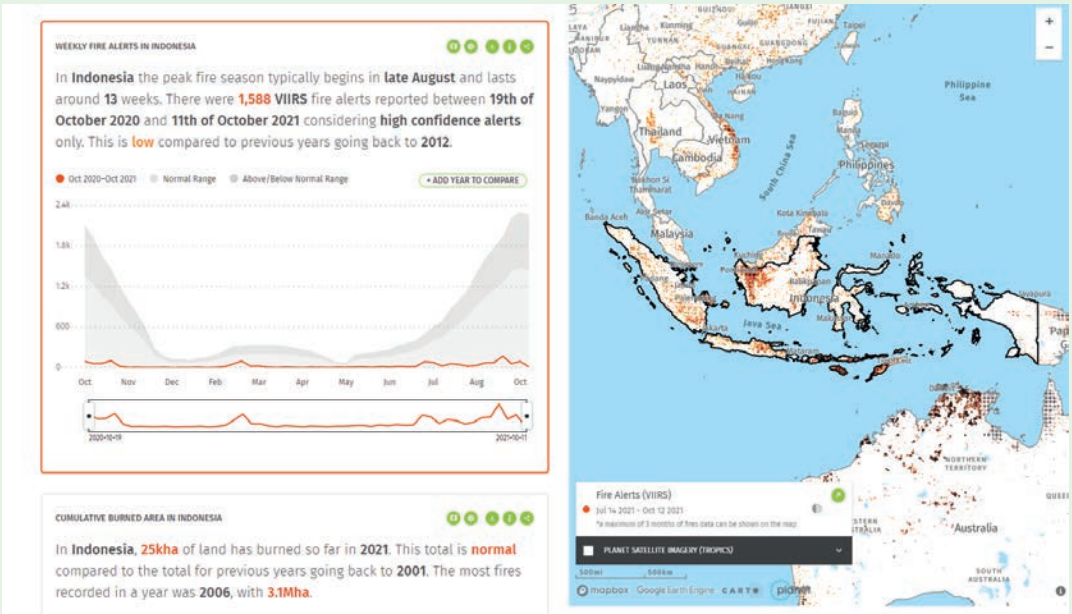
© Mt Kenya Trust

2020年潘塔奈尔保护区（巴西）的灭火工作

© Instituto Homem Pantaneiro

在星星之火发展成为燎原大火之前将其扑灭，可以避免在历史上没有发生过大火的遗产地产生大量排放。印度尼西亚政府机构表明，通过使用全球森林观察（GFW）[107]火灾预警数据这样的实时工具，将火灾反应时间缩短80%是可能的。在该案例中，反应时间从30多个小时降至2 – 4小时[108]。

资料来源：全球森林观察（GFW）在线平台



© 世界资源研究所 (WRI)

[106] 快速反应基金（RRF）：https://whc.unesco.org/en/rapidresponse/。
[107] 例如：https://gfw.global/3AyMecP。
[108] Putraditama et al., 2014。

3.2 将森林完好性和连通性最大化的支持机制

保护区是保护自然、防止扰乱生态过程及其带给人类的诸多惠益（包括气候调节）之战略的一个关键要素。然而，包括世界遗产地在内的许多保护区面临着主要发生在其边界外的人类土地使用压力所造成的日益严峻的挑战[109、110]。这种情况造成保护区周围的景观改变，而保护区则成为一座座孤岛。然而，构成许多世界遗产地突出普遍价值的生态系统动态，往往依赖于更广阔的景观和大面积相互连通的区域[111]。将森林分割为小区块所造成的排放可能占热带毁林所致排放量的约30%，因为新森林区块边缘的树木死亡率更高[112]，类似情况也可能会发生在世界遗产地。因此，只有维持生态连通性，才能确保这些遗产地的完整性，包括它们的碳储存和碳固存功能。作为应对这些挑战的举措，已大力倡导对景观进行综合管理、设立生态走廊和缓冲区，而且世界遗产地申报和管理指导原则特别推荐设立缓冲区[113]。世界遗产地还为土著人民和当地社区提供获得承认和参与的良机，让他们成为森林的有效管理者[114、115]。澳大利亚的世界遗产地昆士兰湿热带地区就是这样。在这里，土著人民与当地政府共同制定了一个合作管理框架，正式承认当地社区拥有和可持续管理其土地的权利[116]。

3.3 将世界遗产地纳入气候、生物多样性和可持续发展议程

在当前全球气候变化和人类压力日益加剧的背景下[117、118]，需要在国家和国际层面采取协调行动。将世界遗产地明确纳入各国国家政策有助于推动国际举措，如可持续发展目标（SDG）、气候行动计划（如《巴黎协定》中的国家自主贡献）和《2020年后全球生物多样性框架》下的生物多样性战略，因为遗产地拥有充当活态实验室、引发政策进程的内在潜力。例如，加蓬自1980年代初以来在洛佩国家公园开展的研究项目为该国的许多保护和气候政策奠定了基础。这些政策的实施使加蓬在2021年成为因减少毁林和森林退化所致排放量而获得基于成果的拨款的第一个非洲国家[119]。

109 Geldmann et al., 2019。
110 Osipova et al., 2020。
111 Kormos et al., 2015。
112 Brinck et al., 2017。
113 《实施<世界遗产公约>操作指南》第103段：https://whc.unesco.org/en/guidelines/。
114 Fa et al., 2020。
115 https://whc.unesco.org/en/activities/496/。
116 https://www.wettropics.gov.au/involvement-in-world-heritage。
117 Venter et al., 2016。
118 Ward et al., 2020。
119 https://www.un.org/africarenewal/magazine/july-2021/gabon-becomes-first-african-country-receive-payment-reducing-co2-emissions。

结论

本报告将遥感数据与实地监测相结合，首次对世界遗产地森林的气候效益进行量化，评估各世界遗产地森林面临的共同威胁对碳的影响，并确定属于净碳源的遗产地。因此，本报告提供的信息有助于推动政策制定者和当地利益攸关方在制定有效政策的过程中开展对话，为子孙后代保护世界遗产地森林作为碳汇和稳定的碳储库的作用。世界遗产地广受关注，具有国际影响力和强大的示范作用，因此更需采取行动。然而，缺乏可持续的供资被认为是阻碍有效保护和管理遗产地的最普遍问题[120]。上文所述路径的成功实施，需要动员关键利益攸关方（如政府、民间社会、土著人民、当地社区和私营部门）开发可持续的融资和投资，为支持决策促进跨学科知识分享。

世界遗产地和其他保护区可作为监测环境变化的活实验室。本报告介绍的分析应推广至世界遗产地以外，并复制到其他保护区网络，如其他教科文组织认定区域（即生物圈保护区和世界地质公园）和国际公认具有极高生物多样性价值的区域（如拉姆萨尔湿地、生物多样性关键区域），从而提高全球和地方对于保护区在减缓和适应气候变化、保护生物多样性方面所起关键作用的认识。

Ivindo National Park (Gabon) © Lee White*

[120] Osipova et al., 2020

参考文献

Alexandrov, G.A. “Carbon stock growth in a forest stand: the power of age.” 2007. Carbon Balance Management 2:4.

https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1750-0680-2-4

Baccini, A., S.J. Goetz, W.S. Walker, N.T. Laporte, M. Sun, et al. 2012. “Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps.” Nature Climate Change 2: 182-185.

https://www.nature.com/articles/nclimate1354

Baccini, A., W. Walker, L. Carvalhi, M. Farina, D. Sulla-Menashe, and R.A. Houghton. 2017. “Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss.” Science 358(6360): 230-234.

https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aam5962

Barber, C.V., R. Petersen, V. Young, B. Mackey, C. Kormos. 2020. The Nexus Report: Nature Based Solutions to the Biodiversity and Climate Crisis. F20 Foundations, Campaign for Nature and SEE Foundation.

https://www.foundations-20.org/wp-content/uploads/2020/11/The-Nexus-Report.pdf

Berzhagi, F., M. Longo, P. Ciais, S. Blake, F. Bretagnolle, S. Vieira, M. Scaranello, G. Scarascia-Mugnozza, C.E. Dougherty. “Carbon stocks in central African forests enhanced by elephant disturbance.” Nature Geoscience 12: 725-729.

https://www.nature.com/articles/s41561-019-0395-6

Blanco G., R. Gerlagh, S. Suh, J. Barrett, H.C. de Coninck, C.F. Diaz Morejon, R. Mathur, N. Nakicenovic, A. Ofosu Ahenkora, J. Pan, H. Pathak, J. Rice, R. Richels, S.J. Smith, D.I. Stern, F.L. Toth, and P. Zhou, 2014: Drivers, Trends and Mitigation. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter5.pdf

Brinck, K., R. Fischer, J. Groeneveld, S. Lehmann, M. Dantas de Paula, S. Putz, et al. 2017. “High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impacts on the global carbon cycle.” Nature Communications 8: 14855.

https://www.nature.com/articles/ncomms14855

Cook-Patton, S.C., S.M. Leavitt, D.A. Gibbs, N.L. Harris, K. Lister, K.J. Anderson-Teixeira, et al. 2020. “Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth.” Nature 585: 545-550.

https://www.nature.com/articles/s41586-020-2686-x

Curtis, P., C.M. Slay, N.L. Harris, A. Tyukavina, M. Hansen. 2018. “Classifying drivers of global forest loss.” Science 361(6407): 1108-1111.

https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aau3445

De Lamo, X., M. Jung, P. Visconti, G. Schmidt-Traub, L. Miles, V. Kapos. 2020. “Strengthening synergies: how action to achieve post-2020 global biodiversity conservation targets can contribute to mitigating Climate change.” UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

https://www.unep-wcmc.org/system/comfy/cms/files/files/000/001/823/original/Strengthening_Synergies.pdf

Duque, A., M.A. Pena, F. Cuesta, S. Gonzalez-Caro, P. Kennedy, O.L. Phillips, et al. 2021. “Mature Andean forests as globally important carbon sinks and future carbon refuges.” Nature Communications 12: 2138.

https://www.nature.com/articles/s41467-021-22459-8

Fa, J.E., J.E.M. Watson, I. Leiper, P. Potapov, T.D. Evans, N.D. Burgess, et al. 2020. “Importance of Indigenous Peoples’ lands for the conservation of Intact Forest Landscapes.” Frontiers in Ecology and the Environment 18(3): 135-140.

https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.2148

Food and Agriculture Organization (FAO). 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.

https://doi.org/10.4060/ca9825en

Geldmann, J., A. Manica, N.D. Burgess, L. Coad, A. Balmford. 2019. “A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures.” Proceedings of the National Academy of Sciences 116(46): 23209-23215.

https://www.pnas.org/content/116/46/23209

Global Carbon Project 2021. Global Carbon Atlas. Accessed September 2021.

http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions

Goetz, S.J., B. Bond-Lamberty, B.E. Law, J.A. Hicke, C. Huang, R.A. Houghton, et al. 2012. "Observations and assessment of forest carbon dynamics following disturbance in North America." Journal of Geophysical Research Biogeosciences.

https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2011JG001733

Hansen, M.C., P.V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, et al. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." Science 342(6160): 850-853.

https://www.science.org/doi/10.1126/science.1244693

Hans-Otto, P., R.J. Scholes, J. Agard, E. Archer, A. Almut, X. Bai, et al. 2020. "Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change." IPBES and IPCC, DOI:10.5281/zenodo.4782538

https://doi.org/10.5281/zenodo.5101133

Harris, N.L., D.A. Gibbs, A. Baccini, R.A. Birdsey, S. de Bruin, M. Farina, L. Fatoyinbo, M.C. Hansen, M. Herold, R.A. Houghton, P.V. Potapov, D Requena Suarez, R.M. Roman-Cuesta, S.S. Saatchi, C.M. Slay, S.A. Turubanova, A. Tyukavina. 2021. "Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes." Nature Climate Change 11: 234-240.

https://www.nature.com/articles/s41558-020-00976-6

Heede, R., N. Oreskes. 2016. "Potential emissions of CO_2 and methane from proved reserves of fossil fuels: An alternative analysis." Global Environmental Change 36: 12-20.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378015300637

Hengl, T., J. Mendes de Jesus, G.B.M. Heuvelink, M Ruiperez Gonzalez, M Kilibarda, A Blagotic, et al. 2017. "SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning." Plos One

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748

Hilty, J., W.L. Worboys, A. Keeley, S. Woodley, B.J. Lausche, H. Locke, et al. 2020. Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 30. Gland, Switzerland: IUCN.

https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.en

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston ,H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Published: IGES, Japan.

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/chinese/index.html

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_zh.pdf

Issa, S., B. Dahy, T. Ksiksi, N. Saleous. 2020. "A review of terrestrial carbon assessment methods using geo-spatial technologies with emphasis on arid lands." Remote Sensing 12.

https://www.mdpi.com/2072-4292/12/12/2008/pdf

Janowiak, M., W.J. Connelly, K. Dante-Wood, G.M. Domke, C. Giardina, Z. Kayler, et al. 2017. "Consideing forest and grassland carbon in land management." General Technical Report. WO-95. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Forest Service. 68 p.

https://doi.org/10.2737/WO-GTR-95

Kormos, C., T. Badman, T. Jaeger, B. Bertzky, R. van Merm, E. Osipova, Y. Shi, P.B. Larsen. 2017. World Heritage, Wilderness and Large Landscapes and Seascapes. Gland, Switzerland: IUCN.

https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.06.en

Laurance, W.F., P. Delamonica, S.G. Laurance, H.L. Vasconcelos, T.E. Lovejoy. 2000. "Rainforest fragmentation kills big trees." Nature 404:836.

https://www.nature.com/articles/35009032

Malhi, Y., C. Girardin, D.B. Metcalfe, C.E. Dougherty, L.E.O.C. Aragao, S.W. Rifai, et al. 2021. "The Global Ecosystems Monitoring network: Monitoring ecosystem productivity and carbon cycling across the tropics." Biological Conservation 253: 108889.

https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108889

Maisels, F., S. Strindberg, S. Blake, G. Wittemyer, J. Hart, E.A. Williamson, et al. 2013. "Devastating decline of forest elephants in Central Africa." PLoS One

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059469

Maxwell, S., T. Evans, J.E. Watson, A. Morel, H. Grantham, A. Duncan, et al. 2019. "Degradation and forgone removals increase the carbon impact of intact forest loss by 626%." Science Advances 5(10).

https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax2546

McLauchlan, K., P. Higuera, J. Miesel, B.M. Rogers, J. Schweitzer, J.K. Shuman, et al. 2020. "Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers" Journal of Ecology 108(5).

https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403

NASA. 2011. "The Carbon Cycle." Accessed September 2021.

https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle

Nesha, M.K., M. Herold, V. De Sy, A.E. Duchelle, C. Martius, A. Branthomme, et al. 2021. "An assessment of data sources, data quality and changes in national forest monitoring capacities in the Global Forest Resources Assessment 2005-2020." Environmental Research Letters 16(5).

https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abd81b/meta

Osipova, E., L. Wilson, R. Blaney, Y. Shi, M. Fancourt, M Strubel, T. Salvaterra, C. Brown, B. Verschuuren. 2014. The benefits of natural world heritage: Identifying and assessing ecosystem services and benefits provided by the world's most iconic natural places. Gland: IUCN.

https://portals.iucn.org/library/node/44901

Osipova, E., M. Emslie-Smith, M. Osti, M. Murai, U. Aberg, P. Shadie. 2020. IUCN World Heritage Outlook 3: A conservation assessment of all natural World Heritage sites. Gland: IUCN.

https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.16.en

Pan, Y., R.A. Birdsey, J. Fang, R.A. Houghton, P.E. Kauppi, W.A. Kurz, O.L. Phillips et al. 2013. "A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests." Science 333(6045): 988-993.

https://science.sciencemag.org/content/333/6045/988.abstract

Pandey, D. 2012. Carbon stock of World Heritage Forest Sites. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-43-12.pdf

Pearson, T., S. Brown, L. Murray, and G. Sidman. 2017. "Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source." Carbon Balance and Management 12:3.

https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13021-017-0072-2

Pechony, O., D.T. Shindell. 2010. "Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century." Proceedings of the National Academy of Sciences 107(45): 18167-19170.

https://www.pnas.org/content/107/45/19167

Putraditama, A., S. Minnemeyer, J. Anderson, N. Sizer. 2014. "Fires spread across Indonesia as parliament approves haze treaty." Accessed October 2021.

https://wri-indonesia.org/en/blog/fires-spread-across-indonesia-parliament-approves-haze-treaty/

Qie, L., S.L. Lewis, M.J.P. Sullivan, G. Lopez-Gonzalez, G.C. Pickavance, T. Sunderland, et al. 2017. "Long-term carbon sink in Borneo's forests halted by drought and vulnerable to edge effects." Nature Communications 8: 1966.

https://www.nature.com/articles/s41467-017-01997-0

Safronov, A.N. 2020. "Effects of climatic warming and wildfires on recent vegetation changes in the Lake Baikal Basin." Climate 8(4): 57.

https://www.mdpi.com/2225-1154/8/4/57

Sato, I., P. Langer, F. Stolle. 2019. "Enhancing NDCs: Opportunities in the forest and land-use sector." Working paper. Washington, DC and New York: World Resources Institute and United Nations Development Programme.

https://www.wri.org/research/ndc-enhancement-opportunities-forest-and-land-use-sector

Scullion, J.J., K.A. Vogt, B. Drahota, S. Winkler-Schor, M. Lyons. 2020. "Conserving the last great forests: A meta-analysis review of the drivers of intact forest loss and the strategies and policies to save them." Frontiers in Forests and Global Change

https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2019.00062/full

Schmidt, I., K. Moura, M. Ferreira, L. Eloy, A. Sampaio P. Dias, C. Berlinck. 2018. "Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward." Journal of Applied Ecology 55(5):2094-2101.

https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13118

Seidl, R., D. Thom, M. Kautz, D. Martin-Benito, M. Peltoniemi, G. Vacchiano, et al. 2017. "Forest disturbances under climate change." Nature Climate Change 7: 395-402.

https://www.nature.com/articles/nclimate3303

Spenceley, A., J.P. Schägner, B. Engels, C. Cullinane Thomas, M. Engelbauer, J. Erkkone, et al. 2021. "Visitors count! Guidance for protected areas on the economic analysis of visitation." UNESCO, Paris, France and German Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378568?posInSet=1&queryId=04dc875b-f9c1-4f60-9776-b77034373026

UNEP-WCMC and IUCN. 2021. Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA). On-line, August 2021, Cambridge, UK.

www.protectedplanet.net

UNESCO. 2021. UNESCO Marine World Heritage: Custodians of the globe's blue carbon assets. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375565_chi

U.S. Energy Information Administration (US EIA). 2021. "Petroleum and other liquids database." Accessed October 2021.

https://www.eia.gov/international/data/world/petroleum-and-other-liquids/more-petroleum-and-other-liquids-data?pd=5&p=000000000000000000008&u=0&f=A&v=mapbubble&a=-&i=none&vo=value&t=C&g=none&l=249--123&s=315532800000&e=1483228800000

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2018. "Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle." Accessed September 2021.

https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2021. "Greenhouse Gases Equivalencies Calculator—Calculations and References." Accessed October 2021.

https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references

van Oldenborgh, G.J., F. Krikken, S. Lewis, N.J. Leach, F. Lehner, K.R. Saunders, et al. 2021. "Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change." Natural Hazards and Earth System Sciences 21(3): 941-960.

https://nhess.copernicus.org/articles/21/941/2021/nhess-21-941-2021.html

Venter, O., E.W. Sanderson, A. Magrach, S.R. Allan, J. Beher, K.R. Jones, et al. 2016. "Sixteen years of change in the global terrestrial footprint and implications for biodiversity conservation." Nature Communications 7: 12558.

https://www.nature.com/articles/ncomms12558

Ward, M., Saura, S., Williams, B. et al. 2020. "Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land." Nature Communications 11:4563.

https://www.nature.com/articles/s41467-020-18457-x

Williams, C.A., G.J. Collatz, J. Masek, S.N. Goward. 2012. "Carbon consequences of forest disturbance and recovery across the conterminous United States." Global Biogeochemical Cycles 26(1).

https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010GB003947

Xu, L., S.S. Saatchi, Y. Yang, Y. Yu, J. Pongratz, A.A. Bloom, et al. 2021. "Changes in global terrestrial live biomass over the 21st century." Science Advances 7(27).

https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abe9829

Zhou, D., S.Q. Zhao, S. Liu, J. Oeding. "A meta-analysis on the impacts of partial cutting on forest structure and carbon storage." Biogeosciences 10: 3691-3703.

https://bg.copernicus.org/preprints/10/C538/2013/bgd-10-C538-2013-supplement.pdf

教科文组织关于世界遗产和气候行动的政策、战略和指导原则

《保护世界文化和自然遗产公约》（《世界遗产公约》）：

https://whc.unesco.org/archive/convention-ch.pdf

《实施<世界遗产公约>操作指南》：

https://whc.unesco.org/en/guidelines/

保护状况信息系统：

https://whc.unesco.org/en/soc/

针对世界遗产的气候行动政策文件：

https://whc.unesco.org/en/climatechange/

世界自然遗产地适应气候变化实用指南：

https://whc.unesco.org/en/series/37/

关于将可持续发展视角纳入《世界遗产公约》进程的政策：

https://whc.unesco.org/en/sustainabledevelopment/

世界遗产地减少风险战略：

https://whc.unesco.org/en/disaster-risk-reduction/

世界遗产灾害风险管理：

https://whc.unesco.org/document/139797

世界自然遗产管理：

https://whc.unesco.org/document/139795

世界遗产地森林

压力重重的碳汇

《世界遗产地森林：压力重重的碳汇》由教科文组织、世界资源研究所（WRI）和世界自然保护联盟（IUCN）合作编写，首次对教科文组织世界遗产地森林的温室气体排放和固存进行全面科学评估。

世界遗产地森林总面积达6900万公顷，约为德国国土面积的两倍，属于世界上生物最丰富多样的栖息地，通过吸收大气中的二氧化碳（CO_2）对调节气候起着至关重要的作用。然而，这些森林面临日益增长的人为压力，包括气候变化。

本报告将遥感数据与实地监测相结合，首次对世界遗产地森林的气候效益进行量化，评估各世界遗产地森林面临的共同威胁对碳的影响，并确定属于净碳源的遗产地。因此，本报告提供的信息有助于推动政策制定者与当地利益攸关方之间的对话，以制定有效解决方案，让世界遗产地森林继续为子孙后代发挥碳汇和稳定的碳储库作用。

unesco
世界遗产公约

WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

IUCN

9 789235 000450